

# Пластичность образа жизни у группы озимых образцов пшеницы и тритикале

В.Е. Козлов , В.И. Пономаренко, Е.П. Размахнин

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Использование «яровых аналогов» для исследования зимостойкости пшеницы дает возможность создавать более зимостойкие сорта. Пластичность образа жизни (способность развиваться по яровому типу при яровом посеве) озимых сортов позволяет выделять такие «аналоги». В условиях Западной Сибири проверена зимостойкость 34 озимых образцов пшеницы и тритикале из Краснодара. Их потомства были посеяны ранней весной вблизи Новосибирска для изучения их пластичности и получения «яровых аналогов». Осенью у пяти образцов не было фертильных растений, а у остальных 29 образцов их доля не превышала 59.3 % отчасти из-за наличия стерильных растений. Полученное яровое потомство было высеяно на месяц позже в следующем году. Осенью среди потомков лишь 15 озимых образцов обнаружены фертильные растения. Но у 28 образцов присутствовали также растения в стадии кущения к началу зимовки. Некоторые из них перезимовали и сформировали семена на следующий год раньше посевов озимых сортов. Несмотря на песчанистую почву (низкое содержание влаги) и сильную майско-июньскую засуху, среди этих растений наблюдалась изменчивость по продуктивности. Такие «озимо-яровые» растения можно использовать для селекции образцов пшеницы и тритикале, пригодных для посева в конце весны – начале лета и уборки на следующий год раньше озимых сортов. Эти образцы будут соответствовать требованиям *sustainable agriculture*, потому что «озимо-яровые» растения были выделены в крайне неблагоприятных условиях: песчанистая кислая (рН 4.9–5.3) малоплодородная почва без внесения удобрений, содержание азота в верхнем слое 0–40 см ниже 25 кг/га. Существует теоретическая возможность селекции «озимо-яровых» растений в качестве подпокровной культуры.

Ключевые слова: зимостойкость; озимая пшеница; тритикале; «яровые аналоги»; пластичность образа жизни; стерильность.

## Seasonal life history plasticity of the group of winter wheat and triticale accessions

V.E. Kozlov , V.I. Ponomarenko, E.P. Razmakhnin

Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The application of “spring analogs” to explore winterhardiness of wheat gives the possibility to obtain cultivars with higher hardiness. Seasonal life history plasticity of winter cultivars gives the possibility to obtain such “analogs”. Winterhardiness of 34 winter wheat and triticale accessions from Krasnodar was tested in West Siberia environment. Their offsprings were sown early in the spring near Novosibirsk to study their plasticity and to obtain “spring analogs”. In the fall the percentage of fertile plants was equal to 0 in the case of 5 accessions and to not more than 59.3 in other 29 accessions partly because of the presence of sterile plants. The progeny of this sowing was sown next year late in the spring. As a result, in the fall fertile plants were observed in the progeny of only 15 winter accessions. Also plants at the stage of tillering were observed in the progeny of 28 accessions at the beginning of winter. Some of them survived and developed seeds next year earlier than winter cultivars. Variability in performance was observed between these plants in spite of sandy soil (low humidity content) and May-June strong drought. So, such “winter-spring” plants can be used for breeding wheat and triticale accessions suitable for sowing late in the spring or early in the summer and harvesting next year earlier than winter cultivars. They can be developed in accordance with *sustainable agriculture*, because “winter-spring” plants were generated in an extremely unfavourable environment: sandy acid soil (pH 4.9–5.3) with low fertility (nitrogen content in the upper 40-cm layer was below 25 kg/ha) without fertilizer application. There is a theoretical possibility to breed “winter-spring” plants in simultaneous sowings with spring cultivars.

Key words: winterhardiness; winter wheat; triticale; “spring analogs”; seasonal life history plasticity; sterility.

### КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Козлов В.Е., Пономаренко В.И., Размахнин Е.П. Пластичность образа жизни у группы озимых образцов пшеницы и тритикале. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;22(3):310-315. DOI 10.18699/VJ18.365

### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Kozlov V.E., Ponomarenko V.I., Razmakhnin E.P. Seasonal life history plasticity of the group of winter wheat and triticale accessions. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(3):310-315. DOI 10.18699/VJ18.365 (in Russian)

**В** настоящее время мы проводим селекцию на увеличение зимостойкости группы современных озимых сортов пшеницы и тритикале, выведенных в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко». Сорта обладают прочной соломиной и потенциалом урожайности зерна 90–100 ц/га. Расширение знаний о механизмах формирования признака зимостойкости, несомненно, может внести вклад в решение поставленной задачи. Об этом, в частности, говорит опыт наших исследований. Так, ощутимый прогресс в исследовании зимостойкости достигнут нами в результате сравнительного исследования динамики биологической активности рострегулирующих веществ в процессе осеннего закалывания озимых сортов мягкой пшеницы и их так называемых яровых аналогов – растений с яровым типом развития. Они были получены В.М. Чекуровым у среднезимостойкого сорта пшеницы Мироновская 808 и высокозимостойкого сорта Ульяновка в яровом посеве (Козлов, 1987). Активность этих веществ проверяли с помощью биотеста на отрезках coleoptiles пшеницы (зона клеток, растущих растяжением) после фракционирования экстрактов тканей растений тонкослойной хроматографией.

Выбор биотеста основан на том, что мелкоклеточность зимующих травянистых растений повышает их зимостойкость (Туманов, 1979). Поэтому предполагалось, что ощутимый уровень активности ингибиторов роста клеток растяжением способен вносить вклад в повышение зимостойкости. Химическая идентификация содержимого хроматографических зон не производилась. Показано, что и у озимого сорта, и у его «ярового аналога» в процессе осеннего развития качественно одинаково, но количественно по-разному снижалась активность стимуляторов роста клеток растяжением и возрастала активность их антагонистов, ингибиторов. У озимого сорта эти изменения были выражены отчетливее. У пары Ульяновка – ее «яровой аналог» такие изменения опережали события пары Мироновская 808 – ее «яровой аналог» и были выражены гораздо сильнее. В то же время растения «ярового аналога» Ульяновки погибли под снежным покровом в ходе зимовки, а растения «ярового аналога» Мироновской 808 погибли спустя 10 дней при температуре воздуха –7, –10 °С без снежного покрова. Очевидно, что это наблюдение не противоречит предположению о вкладе ингибиторов роста клеток растяжением в формирование зимостойкого состояния и позволяет расширить его. Чем выше уровень такой активности, развиваемой в осенний период, тем выше достигаемый уровень зимостойкости.

Между озимым сортом и его «яровым аналогом» существует достаточно близкое генетическое родство, отчасти нарушаемое наличием свойств, соответственно, озимости и яровости. Поэтому наше предположение можно переформулировать. Растения пшеницы, независимо от их образа жизни, высеянные осенью, в ответ на осенние условия среды качественно одинаково снижают ростовые процессы и накапливают активность ингибиторов роста клеток растяжением, что вносит вклад в их устойчивость к предстоящим неблагоприятным условиям среды в зимний период. И чем выше достигаемый уровень активности ин-

гибиторов, тем выше уровень достигаемой устойчивости. Более того, активность ингибиторов у высокозимостойкого сорта Ульяновка незначительно изменилась на протяжении зимовки в отличие от среднезимостойкого сорта Мироновская 808. Снижение в этот период сухого веса растений обоих сортов из-за метаболизма без фотосинтеза под снежным покровом следовало той же тенденции. Таким образом, у Ульяновки стабильнее поддерживался низкий уровень метаболизма, что является одной из предпосылок высокой зимостойкости (Козлов, 1983а, б, 2012; Чекуров и др., 1992; Чекуров, Козлов, 2003; Chekurov, Kozlov, 2005). На основании этого сделано предположение о необходимости отбора на способность сохранять низкий уровень метаболизма в ходе зимовки при селекции озимой пшеницы в Сибири. Его подтвердили наши полевые опыты в условиях малоснежья, которое слабо защищает растения от действия мороза. Предварительный отбор по этому показателю существенно повышал долю растений, выживавших в условиях сильных морозов. По результатам можно сделать вывод, что сохранение у растений зимой низкого уровня метаболизма и развиваемая в итоге высокая морозостойкость на протяжении зимовки – необходимые условия успешного выживания посевов озимых в Сибири. Селекция по этим двум показателям позволила получить группу сортов озимой пшеницы, возделываемых в Сибири (Чекуров и др., 1992; Chekurov, Kozlov, 2005; Kozlov, 2011). В их числе сорта: Багратионовская (стандарт морозостойкости пшеницы в СССР), Кулундинка, Новосибирская 32 (стандарт морозостойкости пшеницы в России в настоящее время), Новосибирская 40 и Новосибирская 51.

Пример привлечения «яровых аналогов» в исследование механизмов формирования зимостойкости у пшеницы показал, что образцы пшеницы, независимо от типа развития (образ жизни: яровой или озимый), в ответ на осенние условия среды качественно одинаково изменяют свой метаболизм. Такое изменение служит для увеличения устойчивости к предстоящим условиям зимнего периода. Это наблюдение дало возможность сделать экспериментально подтвержденное предположение о необходимости селекции на сохранение у озимых низкого уровня метаболизма в течение зимовки для выживания. В настоящей работе исследуется пластичность образа жизни (способность развиваться по яровому типу при яровом посеве) у озимых злаков, селекционируемых нами в настоящее время, на увеличение зимостойкости до уровня, требуемого в условиях Сибири. Возможно, привлечение «яровых аналогов» совместно с исходными озимыми сортами в молекулярно-генетические исследования механизмов формирования зимостойкости позволит расширить знания в этой области и решить поставленную задачу.

### Материалы и методы

Исследовали 25 сортов озимой пшеницы, три сорта озимой тритикале и шесть гибридных популяций озимой пшеницы, выведенных в ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» и любезно предоставленных академиком Л.А. Беспаловой. Это сорта озимой пшеницы: Айвина, Афина (двуручка), Батько, Васса, Вершина, Виза, Вита, Восторг, Грация, Гром, Дмитрий, Есаул, Зимница,

**Table 1.** Confidence intervals

A*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Upper limit	0.259	0.394	0.507	0.607	0.696	0.778	0.850	0.913	0.963	0.995	1.000
Lower limit	0.000	0.005	0.037	0.087	0.150	0.222	0.304	0.393	0.493	0.606	0.720

\* A, the number of ancestral winter plants.

Зимтра, Коллега, Краля, Краснодарская 99, Кума, Лебедь, Лига 1, Первица, Протон, Таня, Творец и Фишт; озимой тритикале: Валентин 90, Дозор и Сотник; пшеничные межсортовые гибридные популяции: Новосибирская 40 × Афина 7, Новосибирская 51 × Афина 7, Новосибирская 40 × Дмитрий, Новосибирская 40 × Творец, Новосибирская 51 × Дмитрий и Новосибирская 51 × Творец.

Все посеы производили на кислых серых лесных почвах с низким уровнем плодородия без внесения минеральных удобрений. Такие почвенные условия существенно ослабляют количественное выражение ряда признаков у растений, включая зимостойкость и урожайность. В кислых почвах ионы алюминия (Al) переходят в растворенное состояние. Токсичность Al – главный фактор, ограничивающий производство в растениеводстве. Кислые почвы охватывают около 40 % всех возделываемых земель в мире (Ma et al., 2000). Кроме того, в настоящее время широко ведутся исследования в области *sustainable agriculture*. Они направлены на увеличение производства продуктов растениеводства при минимальном использовании, в частности минеральных удобрений, путем повышения эффективности их использования новыми сортами (Ruttan, 1999). Перечисленные обстоятельства указывают на актуальность проведения нашего исследования на серых лесных супесчаных почвах с низким уровнем плодородия без внесения минеральных удобрений. pH почвы был в пределах 4.9–5.3; обеспеченность азотом в слое почвы 0–40 см составляла менее 25 кг/га, что соответствует очень низкому уровню, так как это следствие низкого уровня содержания гумуса – меньше 1.5 % (Сысо и др., 2010).

Для размножения семян и оценки зимостойкости эти образцы были высеяны осенью 2012 г. в лесостепи в окрестностях Новосибирска (Западная Сибирь). Часть зимовки посевов проходила на талой почве под толстым снежным покровом, который лег на незамерзшую почву, т. е. основным повреждающим фактором в зимний период для растений была его длительность в отсутствие фотосинтеза. Она достигала 6 мес, что существенно больше, чем в условиях Краснодарского края (Чекуров и др., 1992). У каждого из изученных нами образцов было выбрано 10 наиболее продуктивных растений. В ранневесенний посев (28.04.2014) у этих растений индивидуально высели по 15 зерен, которые взошли. Выросшие из них растения были убраны 15 сентября. Их семена высели на следующий год в поздневесеннем посеве (24.05.2015) индивидуально по растениям. Такое чередование сроков посева позволяет, на наш взгляд, селективировать растения, которые в условиях ярового посева, проводимого в Западной Сибири, способны развиваться по яровому типу и формировать семена. Статистическая обработка проведена согласно (Миллс, 1958). Доверительные пределы для числа озимых растений-предков (A, изменялось от 0

до 10), давших фертильные яровое и «озимо-яровое» (яровой посев–созревание по озимому типу) потомства, приведены в табл. 1 (уровень достоверности 0.95) (Большев, Смирнов, 1983).

## Результаты

Исследование пластичности образа жизни проводили в двух поколениях ярового посева. При ранневесеннем посеве не дали ярового потомства растения лишь трех сортов пшеницы: Айвина, Гром и Протон; тритикале Дозор и гибридной популяции Новосибирская 51 × Афина 7. Растения этих образцов либо не достигли спелости, либо оказались стерильными. У остальных 29 изученных образцов доля фертильных потомков в яровом посеве не превышала 59.3 % (табл. 2; сорт Вита) и не достигала доли спелых растений. Таким образом, в условиях ранневесеннего посева у испытанных злаков наблюдался полиморфизм по способности формировать яровое потомство. Эта гетерогенность сохранилась у полученных нами яровых потомков, высеванных на следующий год в полевых условиях в поздневесеннем посеве, что привело к тому, что среди яровых потомков еще 14 озимых образцов не было фертильных растений (см. табл. 2). У сорта-двуручки Афина все яровые потомки двух растений-предков из озимого посева оказались стерильными во втором яровом поколении. Такие растения у этого сорта не наблюдались в озимом посеве в поле и яровом – в теплице. Это, вероятно, говорит о существенном влиянии почвенно-климатических условий опыта на испытанные злаки. За исключением сорта-двуручки Афина, в поздневесеннем посеве 28 образцов в конце вегетационного периода присутствовали растения в стадии розетки листьев–кущения. Часть из них смогла успешно пройти осеннее закалывание и перезимовать, несмотря на крайне неблагоприятные для этого почвенно-климатические условия: низкое плодородие почвы и ее сильная кислотность; пасмурная осенняя погода с частыми дождями (Козлов, 1983а, б); снежный покров лег на незамерзшую почву; в начале зимовки при толщине снега 4–5 см мороз достигал –20 °С, затем наступила длительная оттепель. В табл. 2 в последней графе приведено количество озимых предков из числа озимых растений, исходно взятых в ранневесенний яровой посев, среди яровых потомков которых в поздневесеннем посеве зарегистрированы растения, выжившие после зимовки.

## Обсуждение

Исследование пластичности образа жизни у группы озимых злаков предпринято в рамках расширения знаний о механизмах формирования у них признака зимостойкости. У каждого образца было выбрано 10 самых продуктивных растений, т. е. наиболее устойчивых к длительности зимовки. В ранневесеннем посеве у каждого из них высели

**Table 2.** Fertility of 34 winter cereal accessions under sowing early in the spring and late-spring resowing of plants that set seeds

Cereal accession	Sowing early in the spring (28.04.2014)			Resowing late in the spring (24.05.2015)	
	Number of winter plants that set seed ( $n = 10$ )	Percentage of fertile plants $P \pm t \times s, \%$ ( $m = 150$ )	Phenotypical stages of plant development (1.09.2014)	Number of winter plants whose spring offspring set seeds ( $n = 10$ )	
				In the spring mode	In the winter-spring mode
Aivina	0	0*	≈ 30 % of plants were at heading. The rest grew as rosettes	–	–
Afina	10	54.0 ± 7.84	All plants ripened (10.08.2014)	8	–
Bat'ko	9	31.3 ± 7.25	≈ 90 % of plants ripened. The rest were at stages from tillering to flowering	0	8
Vassa	10	52.7 ± 7.84	»	8	8
Vershina	10	31.3 ± 7.25	≈ 90 % of plants were at milky ripeness	0	7
Viza	8	18.7 ± 6.07	≈ 60 % of plants were at milky ripeness; the rest were at tillering	2	4
Vita	10	59.3 ± 7.84	≈ 85 % of plants were at wax ripeness	5	8
Vostorg	7	21.3 ± 6.46	≈ 70 % of plants were at stages from flowering to milky ripeness. The rest were from tillering to booting	0	4
Gratsiya	10	58.7 ± 7.84	≈ 90 % of plants were at wax ripeness	5	10
Grom	0	0*	≈ 10 % of plants were at heading. The rest were at the rosette or tillering stages	–	–
Dmitriy	10	34.7 ± 7.44	≈ 85 % of plants were at milky ripeness. The rest were from tillering to booting	1	10
Esaul	9	34.7 ± 7.44	≈ 95 % of plants were at milky ripeness	0	7
Zimnitsa	9	25.7 ± 6.86	≈ 95 % of plants were from flowering to wax ripeness. The rest were at tillering	0	4
Zimtra	8	18.0 ± 6.07	≈ 80 % of plants were at milky-wax ripeness. The rest were at tillering	0	5
Kollega	10	41.7 ± 7.84	Wax ripeness in all plants	3	10
Kralya	10	49.3 ± 7.84	»	2	9
Krasnodarskaya 99	10	54.7 ± 7.84	»	8	10
Kuma	10	48.7 ± 7.84	»	9	10
Lebed'	10	38.0 ± 7.84	≈ 60 % of plants were at milky ripeness	10	10
Liga 1	10	32.7 ± 7.44	Milky ripeness in all plants	0	7
Pervitsa	9	34.7 ± 7.64	Milky-wax ripeness in all plants	1	8
Proton	0	0*	≈ 70 % of plants were from tillering to booting. The rest were at flowering	–	–
Tanya	7	22.0 ± 6.66	≈ 90 % of plants were at milky-wax ripeness. The rest were from tillering to booting	2	6
Tvoretz	3	4.7 ± 3.33	≈ 40 % of plants were at milky-wax ripeness. The rest were from tillering to flowering	0	2
Fisht	2	8.0 ± 4.34	≈ 40 % of plants were at full ripeness. The rest were from tillering to flowering	0	1
Valentin 90	10	32.3 ± 7.44	Full ripeness in all plants (20.08.2014)	5	1
Dozor	0	0*	≈ 10 % of plants were at heading. The rest grew as rosettes	–	–
Sotnik	8	37.3 ± 7.64	≈ 50 % of plants were at full ripeness. The rest were at wax ripeness	8	7
N-40 × Afina 7	9	42.9 ± 7.84	Milky-wax ripeness in all plants	0	7
N-51 × Afina 7	0	0*	Full ripeness in all plants	–	–



**End of table 2**

Sowing early in the spring (28.04.2014)				Resowing late in the spring (24.05.2015)	
Cereal accession	Number of winter plants that set seed (n = 10)	Percentage of fertile plants P ± t × s, % (m = 150)	Phenotypical stages of plant development (1.09.2014)	Number of winter plants whose spring offspring set seeds (n = 10)	
				In the spring mode	In the winter-spring mode
N-40 × Dmitriy	2	3.3 ± 2.74	≈ 95 % of plants were from flowering to milky ripeness	0	2
N-40 × Tvorets	4	8.7 ± 4.50	All plants were from tillering to wax ripeness	0	4
N-51 × Dmitriy	8	27.6 ± 7.05	All plants were from flowering to milky ripeness	0	8
N-51 × Tvorets	4	9.3 ± 4.50	»	0	4

Designations: (n = 10), the number of winter plants of each accession sown in the spring; (m = 150), the number of plants of each accession in spring sowing at the harvest in the autumn. N-40 and N-51 are winter wheat cultivars Novosibirskaya 40 and Novosibirskaya 51, respectively, in designations of hybrid populations. Winter-spring offspring is the offspring of plants sown in the spring that remained at the rosette stage before wintering, overwintered, and set seed in the next year.

\* The upper confidence limit for the percentage of fertile plants is below 3 and the lower, 0 (Bol'shev, Smirnov, 1983), P, percentage of fertile plants; s, mean-square deviation; t = 1.96, coefficient for the confidence level 0.95 (binomial distribution) (Mills, 1958).

15 зерен, которые взошли. В середине сентября лишь у каждого из 13 образцов часть растений в посеве всех 10 озимых предков достигла спелости (см. табл. 2), но не все они были фертильными. Так, даже среди яровых потомков сорта-двуручки Афина фертильными оказались лишь 54 % из 150 растений (см. табл. 2). У каждого из остальных 16 образцов в ранневесеннем посеве не у всех 10 озимых предков наблюдалось хотя бы одно фертильное яровое растение. Таким образом, ранневесенний посев наиболее продуктивных растений из числа выживших после зимовки в условиях Западной Сибири у всех 34 образцов озимых злаков показал их гетерогенность по способности в своем развитии реагировать на необычные агроклиматические условия при таком сроке сева. Это, в частности, привело к неодинаковой скорости прохождения ими стадий онтогенеза и, как следствие, к разному образу жизни их потомков в яровом посеве. При ранневесеннем посеве не исключено воздействие яровизирующих температур на растения, например, в ночные часы. Действительно, в течение месяца со дня посева положительные температуры, не превышающие 10 °С, наблюдались 17 раз (<https://www.gismeteo.ru/diary/4690/2014/5/>). Для исключения возможного влияния таких температур на начальные стадии развития растений семена, полученные от первого ярового посева, были пересеяны индивидуально по растениям в поле на следующий год примерно на месяц позднее. Температуры ниже +10 °С в ночные часы лишь дважды наблюдались в течение месяца после посева (<https://www.gismeteo.ru/diary/4690/2015/5/>).

Такие условия развития растений существенно уменьшили у многих озимых образцов число исходных озимых предков, среди яровых потомков которых были фертильные растения (см. табл. 2). Только у сорта пшеницы Лебедь в потомствах всех десяти озимых предков в обоих яровых посевах присутствовали фертильные растения. У тритикале сорта Сотник такая картина наблюдалась для восьми озимых предков (см. табл. 2). У сорта-двуручки Афина потомки восьми из десяти озимых предков смогли

дать семена во втором яровом посеве. Вероятно, это стало результатом влияния условий выращивания предыдущих озимого и ярового поколений в Сибири.

Таким образом, при обоих сроках ярового посева установлена гетерогенность группы озимых злаков по способности либо завершать онтогенез по яровому типу и давать семена, либо задерживать свое развитие, нередко оставаясь в стадии кущения. Отмечен также высокий уровень стерильности, который, вероятно, является результатом действия комплекса причин.

Еще одна особенность второго ярового посева – часть растений у 28 образцов осталась в стадии розетки листьев – кущения, смогла пройти осеннее закаливание, перезимовать и сформировать семена на следующий год. Развитие зимостойкости у этих «озимо-яровых» растений угнетали кислая малоплодородная почва, токсичность ионов Al, пасмурная осенняя погода с частыми дождями (Козлов, 1983а, б). Затем наступил быстрый переход к морозам до –20 °С при толщине снега 4–5 см. Кроме того, выживание растений также существенно затрудняла их большая надземная масса, образующаяся при ранних посевах и зачастую приводящая к гибели посевов. Весной после стаивания снега наблюдались частые заморозки, под влиянием которых у посевов озимых сортов пшеницы произошло временное изменение зеленой окраски на красно-фиолетовую. В марте 2016 г. снег таял при отрицательной ночной температуре воздуха (кроме шести суток) (<https://www.gismeteo.ru/diary/179528/2016/3/>). Выживаемость «озимо-яровых» растений в таких экстремально неблагоприятных условиях наводит мысль о гетерозисном проявлении у них признака зимостойкости, в особенности морозостойкости в конце зимовки. Это свойство принципиально важно для сохранения посевов озимых в Сибири, где нередко наблюдаются возвратные заморозки весной. С большой долей уверенности можно предположить, что выживаемость в таких условиях посевов испытанных образцов, выполненных осенью семенами из Краснодар, была бы нулевой.

«Озимо-яровые» растения выделены у 21 из 25 сортов озимой пшеницы, у двух из трех сортов озимой тритикале и у пяти из шести гибридных популяций озимой пшеницы. Практическое использование таких растений будет во многом зависеть от того, удастся ли достичь у их потомков стабильного в ряду поколений проявления такого уровня зимостойкости.

Помимо очевидной высокой зимостойкости, «озимо-яровые» растения продемонстрировали еще одну особенность. Весной с началом вегетации в своем развитии они сразу перешли к стадии выхода в трубку, т. е. к генеративному развитию, в то время как рядом росшие посевы сортов озимой пшеницы проходили стадию весеннего кущения и приступили к стадии выхода в трубку примерно на 20 дней позже. Такое быстрое весеннее развитие «озимо-яровых» растений привело их к более раннему созреванию по сравнению с озимыми сортами. Несмотря на сильную воздушную и почвенную засуху с конца мая до середины июня, среди «озимо-яровых» растений наблюдалась широкая изменчивость по их продуктивности (данные не приводятся). Это открывает возможность селекции среди них не только на способность к сверхранним посевам озимых с конца мая в условиях лесостепи Западной Сибири, но и на высокую выраженность других признаков, присущих сортам. Сорта будут более раннеспелыми, чем озимые. Вместе с тем среди растений, которые успешно завершили яровой цикл развития при обоих сроках ярового посева, можно вести селекцию на получение яровых сортов. Исследование этих сортов совместно с «озимо-яровыми» образцами, вероятно, внесет вклад в расширение знаний о механизмах формирования признака зимостойкости у злаков и тем самым поможет решить поставленную задачу: повысить зимостойкость изучаемой группы озимых злаков краснодарской селекции до уровня, требуемого в условиях Сибири. В практике яровые сорта, фенотипически очень близкие к исходным озимым сортам, можно использовать, в частности, для пересева весной участков погибших посевов озимых сортов (Федоров, 1959). Возможная природа молекулярно-генетических процессов, которые лежали в основе наблюдений, описанных выше, обсуждается в работе (Kozlov, 2017).

Кроме того, существует теоретическая возможность селекции «озимо-яровых» растений в качестве подпокровной культуры. Применение таких сортов позволило бы, в частности, сохранить объемы работ, связанных с подготовкой почвы к посеву.

### Acknowledgments

The authors are grateful to Academician L.A. Bespalova, who kindly provided the seeds. This work was supported by State Budgeted Project 0324-2018-0018.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### References

- Bolshev L.N., Smirnov N.V. *Tablitsy matematicheskoy statistiki* [Tables of mathematical statistics]. Moscow: Nauka Publ., 1983 (in Russian)
- Chekurov V.M., Kozlov V.E. Low metabolic rate and high frost resistance are important components of the survival of winter wheat in Siberia. *Materialy 1-y Tsentral'no-Aziatskoy konferentsii po pshenitse* (Kazakhstan, Almaty, 10–13 iyunya 2003 g.) [Proceedings of the 1st Central Asian Wheat Conference, Kazakhstan, Almaty, June 10–13, 2003]. Almaty, 2003. (in Russian)
- Chekurov V.M., Kozlov V.E. Winter wheat's survival mechanisms in Siberia: Low metabolic rate and high frost tolerance. Ed. A.A. Morgunov, K.G. McHol, R. Campbell, R. Poroda. *Increasing Wheat Production in Central Asia through Science and Cooperation. Pros. of the First Central Asia wheat conference. Almaty, Kazakhstan: CIMMYT. 2005;118-121.*
- Chekurov V.M., Kozlov V.E., Titkov I.P., Mitrofanov N.G. Problems and methodological approaches to obtaining winter wheat cultivars in Siberia. *Geneticheskie metody v selektsii rasteniy* [Genetic methods in plant breeding]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992;180-210. (in Russian)
- Fedorov A.K. *Osobennosti razvitiya zimuyushchikh rasteniy* [Development features of winter plants]. Moscow: AN SSSR Publ., 1959. (in Russian)
- Kozlov V.E. Association between winter wheat morphology and its winter hardiness on alteration of the contents of growth-regulating agents. *Sbornik nauchnykh trudov "Rol' fitogormonov v proyavlenii nekotorykh priznakov u rasteniy"* [Role of plant hormones in the manifestation of some traits in plants: collection of works]. Novosibirsk, 1983a;85-96. (in Russian)
- Kozlov V.E. Dynamics of growth substances in tillering nodes of two cultivars of winter wheat and their spring relatives. *Sbornik nauchnykh trudov "Rol' fitogormonov v proyavlenii nekotorykh priznakov u rasteniy"* [Role of plant hormones in the manifestation of some traits in plants: collection of works]. Novosibirsk, 1983b;97-109. (in Russian)
- Kozlov V.E. Comparison of methods of obtaining the genetic diversity for the selection of wheat to winter hardiness in Siberia. *The International Conference "Wheat Genetic Resources and Genomics"*, Novosibirsk, Russia, August 28–September 1, 2011. Novosibirsk: Inst. Cytol. Genet., 2011;19.
- Kozlov V.E. Comparison of methods for obtaining genetic diversity for breeding winter-hardy wheat in Siberia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(1): 232-239.* (in Russian)
- Kozlov V.E. Life history plasticity in large winter cereal group and sharp increasing of winterhardiness of flexible ("winter-spring") plants. *Belyaev conference: A triumphant event in commemoration of the centenary of the birth of Academician Dmitri Belyaev (August 7–10, 2017, Novosibirsk, Russia): Abstracts.* Novosibirsk: Inst. Cytol. Genet., 2017;219.
- Ma J.F., Taketa S., Yang Z.M. Aluminum tolerance genes on the short arm of chromosome 3R are linked to organic acid release in Triticale. *Plant Physiol. 2000;122:687-694.*
- Mills F.C. *Statisticheskie metody* [Statistical methods]. Moscow: Gosstatizdat Publ., 1958. (in Russian)
- Ruttan V.W. The transition to agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci. 1999;96(11):5960-5967. DOI 10.1073/pnas.96.11.5960.*
- Siso A.I., Smolentsev B.A., Yakimenko V.N. Soil cover in the Novosibirsk Scientific Center and its environmental and agrochemical assessment. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal = Siberian Journal of Ecology. 2010;3:363-367.* (in Russian)
- Tumanov I.I. *Fiziologiya zakalivaniya i zimostoykost' rasteniy* [Physiology of hardening and plant winter hardiness]. Moscow: Nauka Publ., 1979. (in Russian)