

СПОСОБЫ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ СОЧЕТАТЬ В ОДНОМ СОРТЕ ВЫСОКУЮ УРОЖАЙНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

В.В. ЧАЙКИН, доктор сельскохозяйственных наук, ORCID ID: 0000-0003-2447-9944

А.А. ТОРОП, доктор сельскохозяйственных наук, ORCID ID: 0000-0002-9428-4926

***Е.А. ТОРОП**, доктор биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-2526-1480,

ФГБНУ «ВОРОНЕЖСКИЙ ФАНЦ ИМЕНИ В.В ДОКУЧАЕВА». E-mail: niich1c@mail.ru

*ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГАУ ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА 1»,

E-mail: helenatorop@yandex.ru

Высокая урожайность и устойчивость к неблагоприятным условиям среды трудно соединить в одном сорте. Из-за недостаточной устойчивости к неблагоприятным факторам заложенные в сорте потенциальные возможности реализуются лишь частично. В данной работе приведены разработанные и апробированные авторами способы, позволяющие объединить в одном сорте эти ценные свойства. Такое сочетание возможно, если они контролируются разными генетическими системами.

Ключевые слова: селекция растений, озимая рожь, способы селекции, урожайность, устойчивость к неблагоприятным условиям.

Для цитирования: Чайкин В.В., Тороп А.А., Тороп Е.А. Способы селекции озимой ржи, позволяющие сочетать в одном сорте высокую урожайность и устойчивость к неблагоприятным условиям среды. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022; 4(44):144-150. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-144-150

WINTER RYE BREEDING METHODS TO COMBINE HIGH YIELD AND RESISTANCE TO ADVERSE ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN ONE VARIETY

V.V. Chaikin, A.A. Torop, E.A. Torop*

FSBSI «V.V. DOKUCHAEV FEDERAL AGRARIAN RESEARCH CENTER, VORONEZH»

*FSBEI HE «VORONEZH STATE AGRARIAN UNIVERSITY NAMED AFTER EMPEROR PETER 1»

Abstract: *High yield and tolerance to unfavorable environmental conditions are difficult to combine in one variety. Due to insufficient resistance to adverse factors, potential possibilities inherent in the variety are realized only partially. The authors have developed and tested methods that make it possible to combine these valuable properties in one variety. Such a combination is possible if they are controlled by different genetic systems.*

Keywords: plant breeding, winter rye, breeding methods, yield, tolerance to adverse conditions.

Введение

Создание сортов, сочетающих высокий уровень урожайности и устойчивость к неблагоприятным факторам среды, по-прежнему весьма актуально [1]. Характерной особенностью озимой ржи, в сравнении с другими зерновыми культурами, является более высокий уровень устойчивости к неблагоприятным факторам среды и связанная с этим большая стабильность достигнутого уровня урожайности [2]. Слабым местом сортов этой

культуры в течение длительного периода был недостаточно высокий уровень их урожайности, что было одной из причин сокращения ее посевных площадей. В определенной степени это характерно и для современных сортов. Потенциал урожайности современных сортов и гибридов ржи достигает 12-13 т/га [3, 4]. У сортов озимой пшеницы он гораздо выше и вполне обоснована возможность создания сортов с урожайностью 15 и даже 20 т/га [5]. Поэтому повышение урожайности (потенциальной и реальной) является основным направлением селекции этой культуры на ближайший период. Но одностороннее увлечение уровнем урожайности, как правило, приводит к созданию сортов с высоким уровнем урожайности, который обычно не достигается из-за недостаточной устойчивости к неблагоприятным условиям.

Достичь более высокого уровня реализации заложенного в создаваемых сортах потенциала возможно при их устойчивости к комплексу неблагоприятных факторов, характерных для среды их возделывания. Поэтому селекция на повышение уровня урожайности должна сопровождаться повышением (в крайнем случае, сохранением) достигнутого уровня устойчивости к действию неблагоприятных факторов среды. Но одновременное повышение продуктивности и устойчивости проблематично, так как эти свойства часто трудно сочетаются в одном организме. Поэтому в селекции часто возникает вопрос: «адаптация или максимальный урожай?».

Для условий Центрально-Чернозёмного региона России, где рожь является страховой озимой культурой, сочетание этих двух свойств в одном сорте обязательно, если учитывать еще и имеющую место тенденцию к изменению климата. Поэтому при селекции этой культуры крайне важно совершенствовать существующие и разрабатывать новые способы, позволяющие в полной мере сочетать в создаваемых сортах высокие урожайность и адаптивность.

Цель работы – показать эффективность разработанных способов селекции, предназначенных для сочетания в одном сорте высокой урожайности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Материал и методы исследования

На начальном этапе исследований исходным материалом служили сорта селекции лаборатории и модельные популяции, сформированные отбором уникальных, редко встречающихся в природе форм ржи. В дальнейшем из них путем гибридизации и отборов были созданы ценные в селекционном плане популяции и сорта. При их создании была проверена эффективность предлагаемых способов селекции. Опытные делянки размещались по черному пару. Площадь делянок в конкурсном сортоиспытании (КСИ) – 25 м², повторность – 6-кратная. В экологическом (ЭСИ) и предварительном (ПСИ) сортоиспытаниях площадь делянки – 5 м², повторность 4-кратная. Полученные первичные экспериментальные данные обрабатывали общепринятыми статистическими методами. Адаптивность и стабильность определяли по А.В. Кильчевскому и Л.В. Хотылёвой [6]. Степень несогласованности процессов органогенеза определяли по способу З.А. Морозовой в нашей модификации [7].

Результаты и обсуждение

Исследования, проведенные нами на модельных растениях, показали, что их продуктивность связана с ростом ассимиляционной поверхности листьев. Но такие формы отличаются большей транспирацией и могут реализовать свой потенциал только в условиях с достаточной обеспеченностью влагой и при отсутствии засухи.

Чтобы устранить этот недостаток крупнолистных форм нами были использованы формы с эректоидной ориентацией листьев. В результате объединения в одном генотипе таких признаков, как «крупные листья» и «эректоидная ориентация листьев», их продуктивность, как показали наши специальные исследования, была резко увеличена. Так, у форм с обычной величиной листа, обозначенных нами как «мелколистные платофиллы», масса зерна с колоса равнялась в среднем за два года 2,275 г, а у крупнолистных эректоидов – 3,230 г. Разница составила 42,0%. Каждый фактор в отдельности оказывал значительно меньшее влияние:

эректоидная ориентация листьев обусловила повышение продуктивности колоса на 9,2%, а увеличение крупности листьев – на 29,3%.

Увеличение продуктивности колоса было обусловлено как за счет числа зерен в колосе, так и массы зерновки. Количество зерен в колосе при сочетании крупного листа с его эректоидной ориентацией увеличилось на 35,2%, а масса зерновки – на 6,2%.

Созданная таким способом популяция эректоидных карликов (ПЭК) послужила исходным материалом для создания сортов Таловская 41 и Таловская 45. Первый из них по результатам государственного испытания был рекомендован для возделывания в 5 регионах и в рейтинге сортов, проходящих государственное испытание, занял первое место по потенциалу урожайности. Он признан лучшим сортом для степных районов страны [8]. Второй сорт (Таловская 45) с 2022 года включен в Госреестр и рекомендован для возделывания в трех регионах. Максимум его урожайности во время госиспытаний равнялся 8,92 т/га.

Высокая урожайность и засухоустойчивость полученного таким способом материала была подтверждена в условиях засухи 2007, 2010 и 2011 годов (табл. 1). В эти годы засушливыми были, как осенний, так и весенне-летний периоды вегетации. При этом сорт Таловская 41 и ее исходная популяция ПЭК существенно превысили стандарты. Превышение составило 14,2 и 17,2 процентов соответственно.

Таблица 1

**Урожайность сорта Таловская 41 и ее исходной популяции
в условиях засухи, т/га**

Сорт	Каменная Степь		ОП «Митрофановский»			Средняя	Отклонение от стандарта	
	2007	2011	2007	2010	2011		т/га	%
Стандарт	5,82	3,35	5,05	2,90	3,28	4,08		
ПЭК	7,27	3,60	5,40	3,43	3,62	4,66	0,58	14,2
Таловская 41	7,13	4,08	5,40	3,26	4,03	4,78	0,70	17,2
НСР ₀₅	0,42	0,38	0,45	0,32	0,23			

Предложенный нами способ основан на совместном действии двух эффективных путей повышения продуктивности растения – увеличении площади ассимилирующей поверхности и предохранении растений от излишнего испарения влаги во время засухи благодаря эректоидной ориентации листьев. Эректоидная ориентация листьев защищает растения от перегрева в полуденное время, чем исключает так называемую полуденную депрессию процесса фотосинтеза и увеличивает время работы листьев по обеспечению растения ассимилянтами. Последнее достигается не только за счет исключения полуденной депрессии, но и благодаря более продолжительной работе листьев нижнего яруса, который при эректоидной ориентации листьев практически не затеняется.

Учитывая важность для селекции ржи такого свойства как устойчивость к полеганию, мы стремились разработать способ, позволяющий упростить процесс и сократить затраты при оценке устойчивости растений к этому неблагоприятному фактору, а также использовать полученные результаты для отбора не только устойчивых, но и высокопродуктивных форм. В ходе исследований нами было установлено, что формы с высокой удельной массой междоузлий отличаются высокопродуктивным колосом (рис.). Это связано, вероятно, не только с образованием у них более развитых анатомических структур, но и с накоплением в их тканях запасных углеводов – сахаров и крахмала, используемых в период созревания на налив зерновок. Обнаруженную закономерность мы использовали для разработки простого и поэтому общедоступного способа оценки не только устойчивости к полеганию, но и продуктивности озимой ржи.

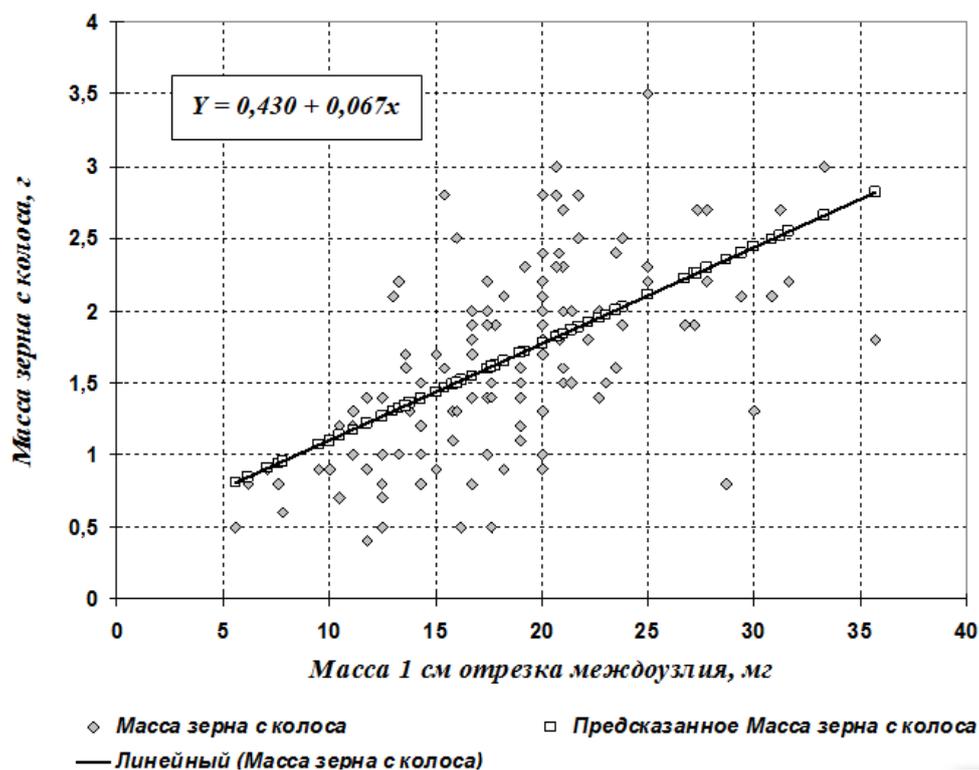


Рис. Связь между продуктивностью колоса и удельной массой стебля

Предлагаемый способ, в сравнении с известными, обладает целым рядом важных преимуществ: простотой и дешевизной, удобством, надежностью, позволяет контролировать два важных для селекции свойства. Выделенный по получаемому показателю материал ценный не только по устойчивости к полеганию, но и по продуктивности, в частности по продуктивности колоса: коэффициент корреляции между удельной массой отрезка и массой зерна с колоса равен $0,899 \pm 0,253$ ($t_{\text{факт.}}$ при $P_{05} = 3,560$ против $t_{\text{табл.}} = 3,182$). Коэффициент корреляции между удельной массой отрезка и устойчивостью растений к полеганию равен $0,968 \pm 0,145$ ($t_{\text{факт.}}$ при $P_{05} = 5,678$ против $t_{\text{табл.}} = 3,182$).

С использованием этого способа создан исходный материал, отличающийся высокой устойчивостью к полеганию (табл. 2).

Средняя за три года оценка его устойчивости к полеганию составила 4,12 балла по 5-балльной шкале, при 2,12 балла у стародавнего сорта МУП. Последнее свидетельствует о том, что условия для полегания во все годы изучения были провокационными.

На основе нового селекционного материала были сформированы сорта, представляющие практическую ценность. Один из них, под названием Таловская 44, отличающийся высоким потенциалом урожайности и высокой устойчивостью к полеганию, по результатам государственного испытания рекомендован для возделывания в Средневолжском регионе, а второй – Таловская 45 успешно прошел государственное испытание.

Стараясь повысить продуктивность, селекционер часто стремится максимально увеличить значение того или иного элемента урожайности. Но абсолютизация отдельных признаков, тесно коррелирующих с урожайностью, и использование их в качестве критериев для отбора может привести к нарушению баланса между продуктивностью и факторами, ее обеспечивающими, и потере растениями устойчивости к неблагоприятным условиям среды, снижению иммунитета и качества.

Необходимо добиваться оптимального соотношения компонентов урожая. А этого можно достичь при оптимальном отношении между рабочими и потребляющими органами. Но для определения уровня оптимальности, сбалансированности происходящих в организме

растений процессов используемыми в селекционной практике методами, необходимы данные специальных исследований или изучения селекционного материала в различных условиях. К тому же, этими методами не всегда можно получить конкретные показатели степени оптимальности, сбалансированности, что необходимо селекционеру, работающему, как правило, с большим объемом селекционного материала и не всегда достаточно разнообразного.

Таблица 2

Устойчивость нового селекционного материала озимой ржи к полеганию (балл)

Название	Год			Средняя
	2014	2015	2016	
Стандарт (Таловская 41)	3,78	4,35	4,24	4,13
Короткостебельные крупнолистные платофиллы	3,75	4,38	4,15	4,09
Короткостебельные крупнолистные эректоиды	4,08	4,58	4,39	4,35
Короткостебельные платофиллы	4,17	4,67	4,11	4,31
Короткостебельные эректоиды	4,00	4,71	4,49	4,40
Крупнолистные эректоиды	3,75	4,38	4,38	4,17
Эректоиды	4,17	4,54	4,40	4,37
Эректоиды с широкими гофрированными листьями	4,08	4,79	4,54	4,47
Платофиллы с широкими гофрированными листьями	4,33	4,38	4,57	4,43
Крупнолистные платофиллы	4,42	3,79	4,40	4,20
Очень крупнолистные платофиллы	3,83	3,96	4,26	4,02
Крупно- и широколистные платофиллы	1,83	3,79	3,54	3,06
Полукарлики с эректоидной ориентацией листьев	3,75	4,42	4,31	4,16
Эректоиды очень крупнолистные	3,83	3,83	4,22	3,96
Эректоиды крупно- и широколистные.	3,25	3,96	3,90	3,70
МУП	2,21	2,45	1,70	2,12
Средняя	3,70	4,19	4,10	4,12

В этом плане определенные преимущества имеет способ, предложенный З.А. Морозовой. К сожалению, этот способ не нашел должного применения в селекционной практике. Причиной этого, по нашему мнению, является то, что он также не давал конкретного показателя степени согласованности происходящих в организме процессов органогенеза. Мы попытались лишить его этого недостатка, введя конкретный показатель [7]. При сопоставлении этого показателя с уровнем урожайности была обнаружена достоверная корреляция средней и сильной степени. Эффективность этого способа была проверена на материалах питомника конкурсного сортоиспытания 1992-1998 гг. (табл. 3). Данные таблицы 3 показывают, что этот способ можно успешно использовать для браковки бесперспективного материала и выделения наиболее ценных сортов.

Описанные выше способы позволяют оценить и выделить высокопродуктивные, устойчивые к отдельным, очень значимым для ЦЧР неблагоприятным факторам формы. Но в течение вегетации часто создаются самые разные сочетания неблагоприятных факторов. Поэтому для отбора устойчивых к ним был предложен новый способ, где в качестве критериев для отбора предложено использовать, кроме урожайности, семенные качества сформировавшихся зерновок (выполненность и силу начального роста). На этих показателях сказываются действия всех неблагоприятных факторов.

При использовании указанных признаков значительно расширяются возможности и надежность способа. Последнее связано с тем, что изучаемые образцы выращивают в естественных условиях, представляющих собою открытую систему, где действуют известные и неизвестные исследователю неблагоприятные факторы при всевозможных их сочетаниях. Сравнение изучаемого материала производится с возделываемым в регионе

сортом и в определенной степени уже приспособленным к разного рода неблагоприятным факторам, действующим в регионе.

Таблица 3

Эффективность браковки селекционного материала с использованием предлагаемого способа

Год	Показатель	Лучшие сорта		Худшие сорта		НСР ₀₅
		лучшая половина набора	два лучших сорта	худшая половина набора	два худших сорта	
1992	K _I	0,94	0,40	1,47	1,45	–
	K _{II}	0,48	0,25	0,76	0,50	–
	Урожайность, т/га	5,39	5,65	4,80	4,32	0,58
1993	K _I	1,74	1,20	1,92	2,10	–
	K _{II}	0,76	0,90	1,12	1,10	–
	урожайность, т/га	6,30	6,57	5,57	5,22	0,55
1994	K _I	0,73	0,57	0,60	1,53	–
	K _{II}	0,30	0,17	0,33	1,08	–
	Урожайность, т/га	2,99	3,59	1,77	1,16	0,98
1995	K _I	1,30	1,55	2,05	2,10	–
	K _{II}	0,70	1,45	1,12	1,25	–
	Урожайность, т/га	3,58	3,67	3,19	2,84	0,31
1996	K _I	0,76	1,30	1,22	1,95	–
	K _{II}	0,50	0,95	0,82	1,40	–
	Урожайность, т/га	5,83	5,98	5,48	5,43	0,27
1997	K _I	1,25	0,81	1,56	2,08	–
	K _{II}	0,75	0,32	0,65	0,98	–
	Урожайность, т/га	6,55	6,68	5,95	5,82	0,60
1998	K _I	1,15	1,56	2,30	1,88	–
	K _{II}	0,65	0,72	1,70	1,00	–
	Урожайность, т/га	5,93	6,06	5,10	4,97	0,47

Систематическое использование в своей практике указанного способа позволило нам создать ценный исходный материал для селекции и высокопродуктивные, адаптированные к неблагоприятным условиям сорта (табл. 4).

Таблица 4

Адаптивность и селекционная ценность сортов озимой ржи разных сроков селекции

Сорт	$u + v_i$	v_i (ОАС)	$\alpha^2(G \times E)_{gi}$	$\alpha^2 CAC_i$	αCAC_i	l_{gi}	s_{gi}	СЦГ _i	K _{gi}
Харьковская 55	4,28	-0,37	0,17	1,84	1,36	0,09	31,7	1,78	1,25
Таловская 15	4,66	0,02	0,12	1,07	1,04	0,11	22,2	2,75	0,73
Таловская 33	4,72	0,08	0,08	1,94	1,39	0,04	29,5	2,16	1,32
Таловская 41	4,84	0,19	0,07	1,49	1,22	0,05	25,2	2,59	1,01
Таловская 44	4,72	0,08	0,10	1,65	1,28	0,06	27,2	2,36	1,12

Все сорта селекции института превзошли ранее возделывавшийся в регионе сорт Харьковская 55 как по урожайности ($u + v_i$), так и по общей адаптивной способности [v_i (ОАС)] и селекционной ценности (СЦГ_i).

Заключение

Селекционная работа в Центре по озимой ржи была направлена на повышение урожайности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды. Для достижения указанной цели использовали известные и разрабатывали новые способы селекции, позволяющие сочетать в одном сорте эти ценные признаки. Это наиболее вероятно, если

указанные свойства контролируются разными генетическими системами.

Литература

1. Бочарникова Н.И., Чесноков Ю.В. Приоритеты и критерии развития селекции в XXI веке // Сб. научных трудов ВНИИ овощеводства и бахчеводства. – 2014. – С. 9-13.
2. Гончаренко А.А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 3. – С. 31-36.
3. Политыко П.М., Мерзликин А.С., Киселёв Е.Ф. и др. Технологии возделывания озимой ржи и экономическая эффективность производства зерна. // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – № 2. – С 10-15.
4. Wilde P. Genetic gain hybrid rye breeding: achievements and challenges / P. Wilde, P. Bajgain, P. Dopierala et al. // International conference on rye breeding and genetics. Conference abstracts. – Wrocław (Poland), Wrocław university of environmental and life sciences. – 2015. – P. 20-21.
5. Mitchell P.L. Potential yield of wheat in the United Kingdom: How to reach 20 t ha⁻¹ / P.L. Mitchell, Sheehy J.E. // Field crops research. – 2018. – V. 224. – P. 115-125.
6. Кильчевский А.В., Хотылёва Л. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 2. Числовой пример и обсуждение // Генетика. – 1985. – Т.21, – № 9. – С. 1491-1498.
7. Тороп Е.А., Тороп А.А. Метод анализа структуры урожая по З.А. Морозовой и его значение для селекционной практики // Сельскохозяйственная биология. – 2009. – № 1. – С. 118-124.
8. Савченко И.В. Современные научные достижения в области растениеводства // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2011. – № 3. – С. 14-15.

References

1. Bocharnikova N.I., Chesnokov Yu.V. Priority i kriterii razvitiya seleksii v XXI veke [Priorities and criteria for the development of breeding in the XXI century] Sbornik nauchnykh trudov. VNIИ ovoshchevodstva i bakhchevodstva [Collection of scientific papers. All-Russian Research Institute of Vegetable and Melon Growing], 2014, pp. 9-13. (in Russian)
2. Goncharenko A.A. Ekologicheskaya ustoichivost' sortov zernovykh kul'tur i zadachi seleksii [Ecological sustainability of grain crop varieties and breeding problems]. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2016, no. 3, pp. 31-36. (in Russian)
3. Polityko P.M., Merzlikin A.S., Kiselev E.F. i dr. Tekhnologii vzdelyvaniya ozimoi rzhi i ekonomicheskaya effektivnost' proizvodstva zerna [Winter rye cultivation technologies and economic efficiency of grain production]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2016, no. 2, pp. 10-15. (in Russian)
4. Wilde P., Bajgain P., Dopierala P. et al. Genetic gain hybrid rye breeding: achievements and challenges. International conference on rye breeding and genetics. Conference abstracts, Wrocław (Poland), Wrocław university of environmental and life sciences, 2015, pp. 20-21.
5. Mitchell P.L., Sheehy J.E. Potential yield of wheat in the United Kingdom: How to reach 20 t ha⁻¹. *Field crops research*, 2018, V. 224, pp. 115-125.
6. Kil'chevskii A.V., Khotyleva L. V. Metod otsenki adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differentsiruyushchei sposobnosti sredy. Soobshchenie 2. Chislovoi primer i obsuzhdenie [Method for assessing the adaptive ability and stability of genotypes, differentiating ability of the environment. Report 2. Numerical example and discussion]. *Genetika*, 1985, 21, no. 9, 1491-1498. (in Russian)
7. Torop E.A., Torop A.A. Metod analiza struktury urozhaya po Z.A. Morozovoi i ego znachenie dlya selektsionnoi praktiki [Method of analyzing the structure of the crop according to Z. A. Morozova and its significance for breeding practice]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2009, no. 1, pp. 118-124. (in Russian)
8. Savchenko I.V. Sovremennye nauchnye dostizheniya v oblasti rastenievodstva [Modern scientific achievements in the field of plant growing]. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2011, no. 3, pp. 14-15. (in Russian)