

УДК 631(092): 635.646

UDC 631(092): 635.646

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (биологические науки)

4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (biological sciences)

ФЕНОМЕН ПОЛИПЛОИДИИ НА ПРИМЕРЫ ТРИБЫ ПШЕНИЦЕВЫЕ (TRITICEAE)

POLYPLOIDY PHENOMENON IN EXAMPLES OF THE TRIBE WHEAT (TRITICEAE)

Цаценко Людмила Владимировна
д-р. биол. наук, профессор, кафедра генетики, селекции и семеноводства

lvt-lemna@yandex.ru

SPIN-код: 2120-6510, AuthorID: 94468

<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>

[Scopus Author ID: 55952841000](https://scopus.org/authid/detail/authid/55952841000)

Tsatsenko Luidmila Vladimirovna
Dr.Sci.Biol., professor, Chair of genetic, plant breeding and seeds

lvt-lemna@yandex.ru

RSCI SPIN-code: 2120-6510, AuthorID: 94468

<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>

[Scopus Author ID: 55952841000](https://scopus.org/authid/detail/authid/55952841000)

Цаценко Наталья Андреевна
Ph.D

E-mail: nat-tsatsenko32@yandex.ru

SPIN-код: 5028-8748, AuthorID: 811364

<https://orcid.org/0000-0002-4258-1865>

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Tsatsenko Natalia Andreevna
PhD

E-mail: nat-tsatsenko32@yandex.ru

RSCI SPIN-code: 5028-8748, AuthorID: 811364,

<https://orcid.org/0000-0002-4258-1865>

"Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

Пшеница является одной из древнейших и наиболее значимых сельскохозяйственных культур в мире, характеризующейся различной степенью пloidности. В данном исследовании был рассмотрен тетраплоидный геном пшеницы AABB, в который были интегрированы геномы ржи, ячменя и диких видов пшеницы. Каждый из этих видов обладает уникальными характеристиками, включая положительные и отрицательные признаки. Уникальность данной конструкции заключается в том, что, несмотря на различия между геномами, в результате формируется прочная генетическая структура со стабильным мейозом. Полиплоидия рассматривается как эффективный механизм комбинирования различных геномов для достижения конкретных целей. В ходе исследования была изучена историческая перспектива возникновения и изучения искусственных полиплоидов, а также задачи, возникшие в процессе их анализа. Эти ранние работы послужили основой для дальнейшего развития генетики и цитологии, существенно расширив наше понимание природы и механизмов полиплоидии

Wheat is one of the oldest and most important crops in the world, characterized by varying degrees of ploidy. In this study, the tetraploid wheat AABB genome was considered, in which the genomes of rye, barley and wild wheat species were integrated. Each of these species has unique characteristics including positive and negative traits. The uniqueness of this construct is that despite the differences between the genomes, the result is a robust genetic structure with stable meiosis. Polyploidy is considered as an effective mechanism for combining different genomes to achieve specific goals. This study explored the historical perspective of the emergence and study of artificial polyploids, as well as the challenges that arose in analyzing them. These early works served as the basis for further developments in genetics and cytology, significantly expanding our understanding of the nature and mechanisms of polyploidy

Ключевые слова: ПОЛИПЛОИДИЯ, АЛЛОГЕКСАПЛОИД, ГЕНОМНО-ЗАМЕЩЕННЫЕ ФОРМЫ ПШЕНИЦЫ, ТРИТИКАЛЕ, ТРИТОРДЕУМ

Keywords: POLYPLOIDY, ALLOHEXAPLOID, GENOME-SUBSTITUTED FORMS OF WHEAT, TRITICALE, TRITORDEUM

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-208-017>

Полиплоидия представляет собой состояние организма, характеризующееся наличием более двух гаплоидных наборов хромосом [Masreshaw, 2021; Heslop-Harrison, 2023]. Данный феномен играет ключевую роль в генетической модификации сельскохозяйственных культур благодаря манипулированию числом хромосом.

Естественные процессы полиплоидизации играют важную роль в адаптивных механизмах и видообразовании растительных организмов. Результаты работ многих авторов свидетельствуют о том, что большинство видов культурных растений подверглись полиплоидизации в процессе эволюционного развития [Heslop-Harrison, 2023]. Среди примеров таких культур выделяются *Raphanobrassica*, гексаплоидная пшеница (*Triticum aestivum*) и тритикале ($\times$ *Triticosecale*). Как отмечает Nieto Feliner G. (2021), частота появления полиплоидов среди покрытосемянных растений значительно превышает показатели у других групп растительного мира, составляя приблизительно одну особь на каждые 100 000 экземпляров.

Стеббинс (1947) предложил классификацию полиплоидии у растений, выделив три основных типа: автополиплоидию, аллополиплоидию и сегментированную аллополиплоидию. Автополиплоидные формы формируются в результате умножения числа гомологичных геномов в пределах одного биологического вида, тогда как аллополиплоиды образуются в результате слияния геномов различных видов. В случае аллополиплоидов наблюдается наличие разнородных геномов, некоторые из которых могут отличаться друг от друга лишь частично [Stebbins, 1947]. Сегментированная аллополиплоидия отличается присутствием нескольких геномов, различающихся лишь частично, способствующих формированию как бивалентов, так и мультивалентов в процессе мейоза.

<http://ej.kubagro.ru/2025/04/pdf/17.pdf>

Термин «полиплоидия» имеет греческие корни: приставка «poly», указывающая на множество или превышение числа два, сочетается с корнем «ploideus», связанным с количеством хромосом и происходящим от греческого слова «idios», означающего индивидуальный. Концепция «Id» была введена Августом Вайсманном в немецкоязычную литературу в 1893 году для обозначения наследственных характеристик зародышевой плазмы. Позже, в 1905 году, Эдуард Страсбургер предложил термины «гаплоид» и «диплоид» [Ruiz , 2020], что стало важным этапом в развитии цитогенетической науки.

Начало XX столетия ознаменовано значительными достижениями в исследовании полиплоидных организмов. Одним из пионеров в этой области стал Хьюго де Фриз, который обнаружил, что *Oenothera gigas* представляет собой тетраплоидный организм, возникший от диплоидной формы *Oenothera lamarckiana*. Дальнейшие исследования были посвящены изучению возможных случаев удвоения хромосом у кукурузы (*Zea mays*) [Хатефов, Щербак, 2016; Родионов, Шнеер, 2024].

Одним из значительных достижений стало успешное получение синтетического тетраплоида картофеля (*Solanum nigrum*) Оскаром Винклером в 1916 году, что послужило первым примером лабораторного синтеза полиплоидного организма. В это же время проводились исследования других растительных видов, включая *Chrysanthemum*, *Drosera* и *Dahlia* [Stebbins Jr. G. L. 1947], где также были обнаружены множественные наборы хромосом.

Было предложено новое направление исследований, объясняющее видообразование через процессы гибридизации, сопровождаемые полиплоидизацией. Примеры межвидовой гибридизации наблюдали у различных таксономически значимых родов, таких как *Triticum* и *Nicotiana*. Систематические исследования полиплоидных форм растений

проводили такие ученые, как Арне Мунтцинг в 1936 г. и Сирил Дартингтон в 1937 г. [Клименко, 2021].

Эти ранние работы заложили основу для дальнейшего развития генетики и цитологии, значительно расширив наши знания о природе и механизмах полиплоидии.

Одновременно с этим, Дастином и коллегами (1937) была открыта способность колхицина индуцировать удвоение числа хромосом у растений. Практическое использование данного метода для индукции полиплоидии было продемонстрировано Блейкли и Эйвери (1937), подтвердившими его высокую эффективность.

Параллельно было установлено, что многие важные сельскохозяйственные культуры, такие как пшеница (*Triticum aestivum*), овес (*Avena sativa*), хлопчатник (*Gossypium hirsutum*), табак (*Nicotiana tabacum*), картофель (*Solanum* spp.), банан (*Musa acuminata*), кофе (*Coffea arabica*) и сахарный тростник (*Saccharum officinarum*), представляют собой полиплоиды, возникшие либо вследствие целенаправленной гибридизации и селекции (как в случае некоторых сортов черники), либо в результате древних событий полиплоидизации, как это произошло у кукурузы.

После выхода фундаментального труда Стеббинса (1950) «Вариация и эволюция у растений» интерес к изучению полиплоидии значительно возрос. На сегодняшний день большинство основных групп растений признаются полиплоидными, за исключением голосеменных, где данное явление встречается крайне редко. Эволюционная история многих растительных линий свидетельствует о неоднократных событиях дупликации генома. В этой связи определение видового статуса полиплоидов затруднительно ввиду сложных взаимоотношений между ними и их диплоидными предками. Многолетние растения с длительным жизненным циклом и разнообразием вегетативных механизмов размножения (такие как *Fragaria*, *Rubus*, *Artemisia*, *Potamogeton* и другие),

а также виды, подверженные частым случаям естественной межвидовой гибридизации, особенно склонны к преимуществам, связанным с полиплоидией.

В нашей работе сделана попытка рассмотреть явление полиплоидии на примеры трибы Пшеницевые (*Triticeae*).

Геном пшеницы демонстрирует уникальную способность быть платформой для создания новых гибридных комбинаций, что показано на рисунке 1.

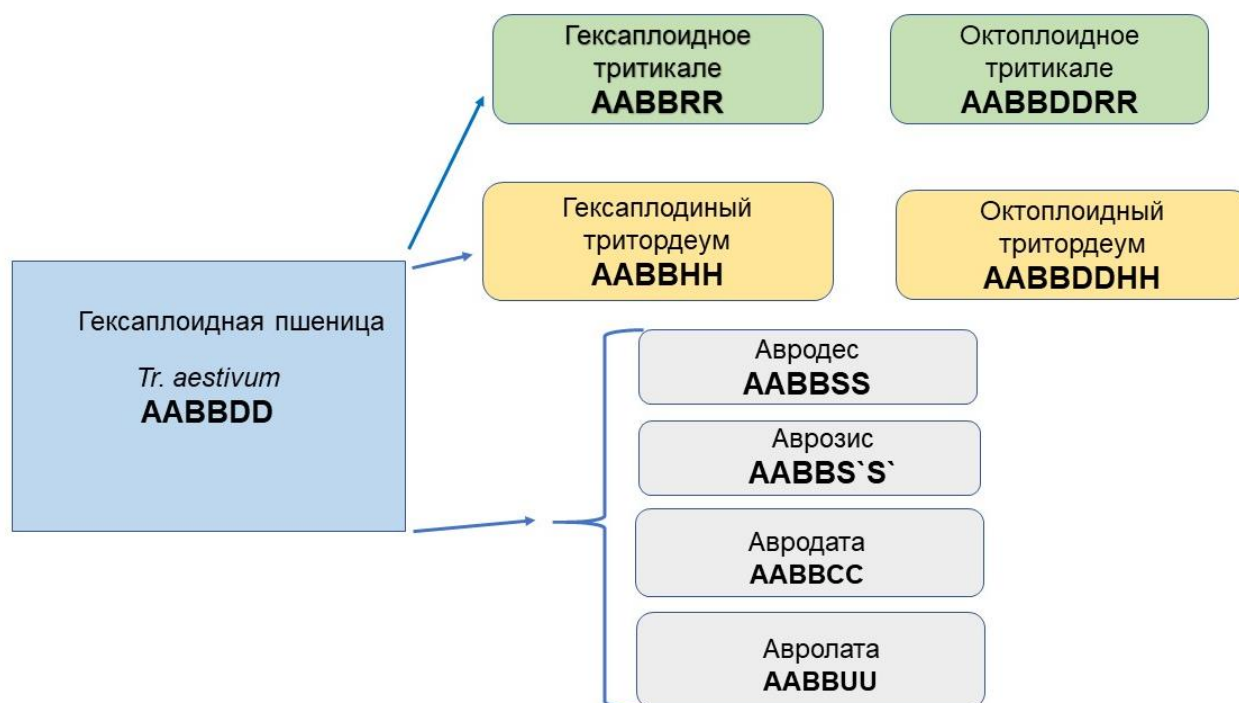


Рисунок 1 – Различные гибридные комбинации с участием генома пшеницы.

Тритикале, первая успешно полученная гибридная зерновая культура, созданная путем интрогрессивной гибридизации между пшеницей (*Triticum* spp.) и рожью (*Secale cereale*), была выведена в 1875 году. С момента ее появления эта культура стала объектом интенсивных научных

исследований, проводимых специалистами в области агрономии и селекции растений.

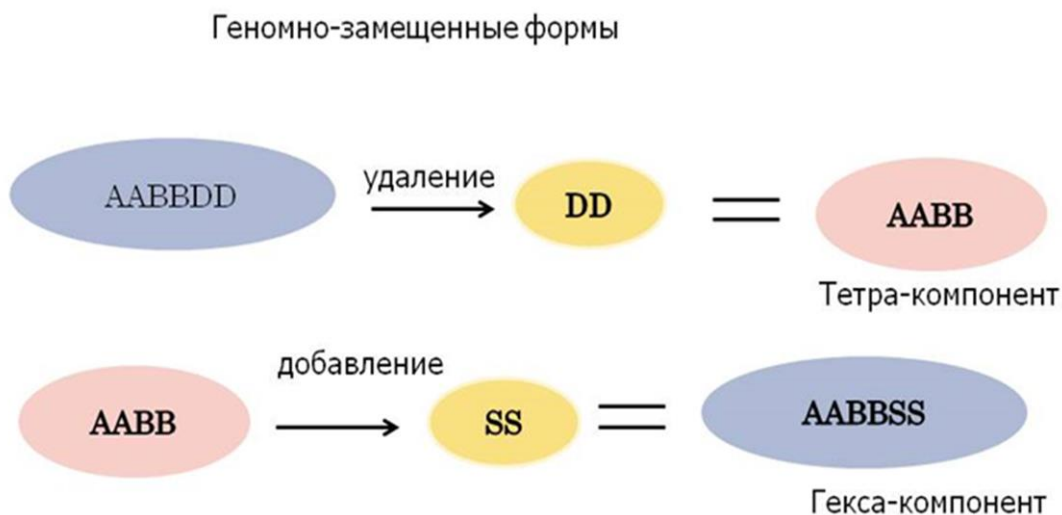


Рисунок 2 – Геномно-замещенные формы пшеницы, схема создания:

cv. *Avrora*+ *Ae. speltoides* = *Avrodes* (*Ae. speltoides*, SS)
Avrozis (*Ae. sharonensis*, S'S')
Avrodata (*Ae. caudata*, CC)
Avrolata (*Ae. umbellilata*, UU)

Исходная концепция заключалась в объединении ключевых характеристик родительских видов: высоких хлебопекарных качеств пшеницы и устойчивости ржи к неблагоприятным условиям среды, включая адаптацию к бедным почвам, засухоустойчивость, морозостойкость, резистентность к патогенам и низкую требовательность к агротехнике.

Несмотря на первоначальные ожидания и широкую рекламу тритикале, практическое внедрение этой культуры шло медленнее, чем предполагалось. Тем не менее, принимая во внимание тысячелетнюю историю domestikации таких традиционных злаков, как пшеница и рис, в сравнении с относительно короткими сроками и ограниченными ресурсами, затраченными на разработку тритикале, достигнутые результаты представляются значительными. Современные сорта тритикале

демонстрируют конкурентоспособность с лучшими сортами традиционной пшеницы практически во всех зонах проведения научных экспериментов. Более того, на определенных маргинальных почвах тритикале даже превосходит пшеницу по продуктивности. Так, исследования в аридных регионах Северной Африки показывают, что тритикале может стать перспективной альтернативой пшенице и ячменю. В условиях холодного и влажного климата высокоурожайные сорта озимой тритикале, преимущественно разработанные польскими учеными, постепенно внедряются в основные зерновые системы стран Северной Европы [Цаценко, 2020].

Сегодня в мире культивируется около 3,6 миллионов гектаров тритикале. Мировой объем производства тритикале вырос с 599 тыс. тонн в 1985 году до 13803 тыс. тонн в 2023 году [FAOSTAT, 2025]. Эта культура получила мировое признание, и её посевные площади продолжают расширяться, особенно в регионах с неблагоприятными экологическими условиями. Из-за недостатка данных от некоторых национальных систем сельскохозяйственных исследований (НССХИ), точные сведения о распространении сортов и занимаемых ими площадях отсутствуют. Однако имеющиеся данные Международного центра по улучшению кукурузы и пшеницы (*International Maize and Wheat Improvement Center* или CIMMYT) показывают, что начиная с середины 1970-х годов, в более чем 30 странах было создано свыше 200 сортов тритикалер [FAOSTAT, 2025].

Первоначально возникшие проблемы, такие как низкая семенная фертильность и склонность к слабой выхоленности зерновки, были успешно преодолены. В настоящее время основное внимание исследователей направлено на улучшение качества зерна для различных продовольственных и фуражных целей, а также на повышение адаптивности культуры к новым регионам. Продовольственное

применение включает производство хлеба, макаронных изделий, продуктов из мягкой пшеницы и солода. Новые перспективы для диверсификации открываются благодаря селекции озимых сортов с повышенной кормовой биомассой по сравнению с яровыми сортами. Эти сорта позволяют эффективно использовать значительную часть биомассы для выпаса скота, заготовки кормов, комбинированного возделывания (сначала для выпаса или сенокошения, а затем для получения зерна), а также для приготовления силоса и сена.

В таблице 1 показаны ключевые страны производители тритикале. Лидером по объему производства можно отнести Польшу, ФРГ, Францию, Беларусь, на которые приходится более 70% мирового объема.

Таблица 1 – Ведущие страны производители тритикале: площадь возделывания и объем производства в 2023 г.

№	Страна	Площадь возделывания, тыс. га	№	Страна	Объем производства, тыс. тонн
1	Польша	1201,2	1	Польша	5282,4
2	Беларусь	442,4	2	ФРГ	1832,4
3	Франция	326,3	3	Франция	1646,5
4	ФРГ	311,5	4	Беларусь	1317,4
5	Испания	249,4	5	КНР	373,3
6	КНР	200,0	6	Турция	370,0
7	РФ	114,6	7	РФ	315,5
8	Турция	110,2	8	Австрия	301,8
9	Венгрия	75,1	9	Венгрия	300,1
10	Литва	67,2	10	Испания	288,2
11	Румыния	59,5	11	Чехия	209,1
12	Австралия	57,0	12	Литва	207,4
13	Австрия	53,1	13	Румыния	197,1
14	Чехия	42,0	14	Швеция	120,2
15	Болгария	35,2	15	Болгария	118,3
Остальные страны		254,0	Остальные страны		924,0
Всего в мире		3598,7	Всего в мире		13803,6

Источник: составлено по данным ФАОСТАТ.URL:
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Менее известная разновидность зерновых культур – тритордеум (*Tritordeum*), который был получен в результате гибридизации твердой пшеницы (*Triticum durum*) и дикого ячменя (*Hordeum chilense* Roem) [Rózewicz, M. Wyzińska, 2021]. Исследования по созданию *Tritordeum* начались в конце 1970-х годов учеными Института устойчивого сельского хозяйства (*Instituto de Agricultura Sostenible*, IAS) Высшего совета по научным исследованиям (*Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, CSIC) в Кордове.

Изначально были протестированы различные комбинации культурных форм ячменя и пшеницы, однако эти попытки оказались неудачными. Успех был достигнут благодаря использованию материнского растения ячменя (*H. chilense*), чьи колоски были скрещены с отцовским растением твердой пшеницы (*Tr. durum*). В данном процессе использовались разнообразные сорта ячменя и пшеницы, что обеспечило значительное генетическое разнообразие полученных гибридов *Tritordeum*, влияющее на их адаптационные возможности в различных условиях возделывания.

Для селекционных работ были выбраны 103 материнские линии ячменя и 80 отцовских линий твердой пшеницы из Международного семенного банка. Линии ячменя, задействованные в создании *Tritordeum*, происходили из Чили и Аргентины, тогда как используемые формы пшеницы были отобраны с различных континентов, представляя разные климатические и почвенные зоны. Это позволило получить обширное количество комбинаций, среди которых было отобрано 250 базовых сортов *Tritordeum* для дальнейшего совершенствования [Ruiz, 2020].

Название нового злака является комбинацией латинских наименований родительских видов: префикс взят от названия *Tr. durum*, а суффикс – от *H. chilense*. Так, новый злак получил название *Tritordeum*. После 30 лет интенсивной селекционно-исследовательской работы компания Agrasys представила *Tritordeum* на рынке в апреле 2013 года.

Кроме того, наиболее значимым результатом данного исследования является уровень этерификации лютеина, выявленный у Tritordeum, который значительно превышает аналогичный показатель у твердой пшеницы. Дополнительным преимуществом выступает отсутствие в генотипе гексаплоидных разновидностей данной культуры D-хромосом, содержащих гены, ответственные за синтез иммуногенных пептидов. Это обстоятельство обуславливает лучшую переносимость Tritordeum лицами с непереносимостью глютена. В отличие от гексаплоидной формы, октоплоидный вариант уже содержит в своем геноме D-хромосомы (AABBDDHH), что наряду с наличием аллергенных белков приводит к снижению урожайности по сравнению с гексаплоидными формами. Исходя из этого, можно предположить, что в перспективе гексаплоидные сорта Tritordeum приобретут более важное значение и получат широкое распространение в сельском хозяйстве.

В Национальном центре зерна (НЦЗ) имени П. П. Лукьяненко (ранее, Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства), расположенного в городе Краснодар, разработан инновационный метод Е.Г. Жировом, который позволил создать уникальные геномно-замещенные формы Авродес (BBAASS), Аврозис (BBAASshSsh), Авролата (BBAUUU), Авротата (BBAANnNn), Авроале (BBAARR), где геном D мягкой пшеницы был заменен на геномы *Ae. speltoides*, *Ae. sharonensis*, *Ae. umbellulata*, *Ae. uniaristata* и *S. cereale* соответственно. Эти формы использовались для переноса экономически значимых генов в мягкую пшеницу, а также для получения вторичных синтетических форм. Основная форма для создания рекомбинантных синтетиков – синтетическая форма Авродес, обладающая способностью индуцировать гомеологичную конъюгацию хромосом благодаря геному *Ae. speltoides*. Позже эта работа была продолжена ученым института Давояном Р.О. по

улучшение генома пшеницы за счет чужеродного генетического материала [Давояном Р.О., 2017].

Синтетическая форма Авродес демонстрирует высокую резистентность к таким патогенам, как листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Eriks.), желтая ржавчина (*Puccinia striiformis* West.) и мучнистая роса (*Blumeria graminis* f. sp. tritici), а также характеризуется повышенным уровнем белка. Предполагается, что общий для всех форм геном ВА мягкой пшеницы может служить основой для потенциальной рекомбинации между хромосомами разных геномов диких видов. Эти формы перспективны для создания новых транслокаций и позволяют в некоторых случаях осуществлять передачу генетического материала сразу от двух диких видов [Цаценко, 2020].

Путем гибридизации формы Авродес с другими геномно-замещенными формами были созданы синтетические RS-формы, у которых первые два генома (А и В) происходят от мягкой пшеницы сорта Аврора, тогда как третий геном представляет собой комбинацию хромосом генома S от *Ae. speltoides* с хромосомами других диких видов: *Ae. umbellulata* (U), *Ae. sharonensis* (Sl) и *Secale cereale* (R).

Таким образом, феномен полиплоидии у пшеницы проявляется в возможности реконструировать ее геном, добавлять или замещать целые геномы и получать новые формы с различными ценными агрономическими признаками.

Список литературы

1. Давоян Р. О. и др. Использование синтетической формы Авродес для передачи устойчивости к листовой ржавчине от *Aegilops speltoides* мягкой пшенице // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – Т. 21. – №. 6. – С. 663-670.
2. Клименко В.П. Идентификация уровня плоидности рас тений в селекции винограда / В.П. Клименко, Е.А. Лушай, А.С. Абдурашитова // «Магарач». Виноградарство и виноделие, 2021ю –Т.23(4). – С. 322-329. DOI 10.35547/IM.2021.23.4.003
3. Родионов, А. В. Особенности видообразования у цветковых растений с точки зрения эволюционной геномики / А. В. Родионов, В. С. Шнеер // Проблемы ботаники

Южной Сибири и Монголии. – 2024. – № 23-1. – С. 235-240. – DOI 10.14258/pbssm.2024042.

4. Хатефов, Э. Б. Автополиплоидия - как эффективный механизм в селекции сельскохозяйственных растений / Э. Б. Хатефов, В. С. Щербак // Международные научные исследования. – 2016. – № 3(28). – С. 281-284.

5. Цаценко, Л. В. Цитогенетика : Учебное пособие / Л. В. Цаценко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – 81 с.

6. Heslop-Harrison J. S. Polyploidy: its consequences and enabling role in plant diversification and evolution / J. S. Heslop-Harrison, T. Schwarzacher, Q. Liu // *Annals of Botany*. – 2023. – Т. 131. – №. 1. – С. 1-10. in Grafted Crops. *Front. Plant Sci.* 11:540894. doi: 10.3389/fpls.2020.540894

7. Masreshaw A., Review on polyploidy and its implications in plants breeding / A. Masreshaw // *Int.J.Curr.Res.Biosci.Plantbiol.* 2021 –Т.8(3). – P 1-9.

8. Nieto Feliner G. Genomics of Evolutionary Novelty in Hybrids and Polyploids / G. Nieto Feliner, J. Casacuberta, J.F. Wendel // *Front. Genet.* – 2021. – № 11. –P.792-798.. doi: 10.3389/fgene.2020.00792

9. Różewicz M. Characteristics of Tritordeum and evaluation of its potential for cultivation in Poland, with considerations for the nutritional and fodder value of the grains / M. Różewicz, M. Wyzińska // *Polish Journal of Agronomy*. – 2021. – №. 44. – С. 15-21.

10. Ruiz M. Synthetic Polyploidy / Shinde A.V. et al. / *Polyploidy: An evolutionary plant breeding approach*. In book: *Elements of plant Breeding*. – 2020. –P. 88-105/

11. Stebbins Jr G. L. Types of polyploids: their classification and significance / Jr G. L. Stebbins // *Advances in genetics*. – 1947. – Т. 1. – С. 403-429.

12. FAOSTAT. Онлайн ресурс. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [дата обращения 22.02.2025]

References

1. Davoyan R. O. i dr. Ispol'zovanie sinteticheskoy formy Avrodes dlya peredachi ustojchivosti k listovoj rzhavchine ot *Aegilops speltoides* myagkoj pshenice // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. – 2017. – Т. 21. – №. 6. – С. 663-670.

2. Klimenko V.P. Identifikaciya urovnya ploidnosti ras tenij v selekcii vinograda / V.P. Klimenko, E.A. Lushchaj, A.S. Abdurashitova // «Magarach». *Vinogradarstvo i vinodelie*, 2021yu –Т.23(4). –С. 322-329. DOI 10.35547/ IM.2021.23.4.003

3. Rodionov, A. V. Osobennosti vidoobrazovaniya u cvetkovyh rastenij s tochki zreniya evolyucionnoj genomiki / A. V. Rodionov, V. S. Shneer // *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*. – 2024. – № 23-1. – С. 235-240. – DOI 10.14258/pbssm.2024042.

4. Hatefov, E. B. Avtopoliploidiya - kak effektivnyj mekhanizm v selekcii sel'skohozyajstvennyh rastenij / E. B. Hatefov, V. S. Shcherbak // *Mezhdunarodnye nauchnye issledovaniya*. – 2016. – № 3(28). – С. 281-284.

5. Cacenko, L. V. Citogenetika: Uchebnoe posobie / L. V. Cacenko. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina, 2020. – 81 s. –

6. Heslop-Harrison J. S. Polyploidy: its consequences and enabling role in plant diversification and evolution / J. S. Heslop-Harrison, T. Schwarzacher, Q. Liu // *Annals of Botany*. – 2023. – Т. 131. – №. 1. – С. 1-10. in Grafted Crops. *Front. Plant Sci.* 11:540894. doi: 10.3389/fpls.2020.540894

7. Masreshaw A., Review on polyploidy and its implications in plants breeding / A. Masreshaw // *Int.J.Curr.Res.Biosci.Plantbiol.* 2021 –Т.8(3). – P 1-9.

8. Nieto Feliner G. Genomics of Evolutionary Novelty in Hybrids and Polyploids / G. Nieto Feliner, J. Casacuberta, J.F. Wendel // *Front. Genet.* 2021. – № 11. –P.792-798. doi: 10.3389/fgene.2020.00792

9. Różewicz M. Characteristics of Tritordeum and evaluation of its potential for cultivation in Poland, with considerations for the nutritional and fodder value of the grains / M. Różewicz, M. Wyzińska // Polish Journal of Agronomy. – 2021. – №. 44. – С. 15-21.
10. Ruiz M. Synthetic Polyploidy / Shinde A. V. et al. / Polyploidy: An evolutionary plant breeding approach. In book: Elements of plant Breeding. – 2020. – P. 88-105/
11. Stebbins Jr G. L. Types of polyploids: their classification and significance / Jr G. L. Stebbins // Advances in genetics. – 1947. – Т. 1. – С. 403-429.
12. FAOSTAT. Онлайн ресурс. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [дата обращения 22.02.2025]