

Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

Селекция растений – основа продовольственной безопасности России

Н.П. Гончаров¹, В.М. Косолапов²

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

² Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса, г. Лобня, Московская область, Россия

✉ gonch@bionet.nsc.ru; vnii.kormov@yandex.ru

В текущий выпуск «Вавиловского журнала генетики и селекции» вошли доклады ведущих селекционеров России на сессии Отделения сельскохозяйственных наук РАН «Научное обеспечение эффективного развития селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур в Российской Федерации», состоявшейся в Москве 7 декабря 2020 г. Тематика сессии выбрана не случайно: концепция продовольственной безопасности РФ обуславливает ключевые направления и особенности современного развития отечественной селекции. Они требуют осмысления и всестороннего анализа тенденций развития селекции и определения ее перспектив на ближайшее будущее, особенно в свете повышения эффективности импортозамещения и создания сортов нового поколения.

Открывает номер статья Б.И. Сандухадзе с соавторами «Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты». В ней рассмотрены основные этапы и достижения селекции озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в регионе за вековой период. Показано, что благодаря усилиям селекционеров урожайность сортов данной культуры здесь увеличилась до 14.0 т/га, т.е. почти в 10 раз превысила таковую сортов первых этапов научной селекции в центре Нечерноземной зоны России. Жители столицы и Подмосковья уже начали забывать проблему «белого пятна» (в начале XX в. в регионе из хлебных культур возделывалась почти исключительно рожь, так как выращивание пшеницы было нерентабельно), успешно решенную нашим выдающимся селекционером В.Е. Писаревым на базе восточносибирских скороспелок. К настоящему времени сорта ФИЦ «Немчиновка» позволили полностью обеспечить Нечерноземье – густонаселенный регион РФ – собственным продовольственным зерном пшеницы и привить культуру потребления белого хлеба. Отметим, что кроме пшеницы, ячменя и овса РФ полностью обеспечивает себя зерном риса (Госпадинова и др., 2016).

Второе место после зерновых культур в нашей стране занимают посевы зернобобовых. С первых этапов доместикации они сопутствовали злакам и шли с ними бок о бок на полях земледельцев, разнообразя рацион и давая высокобелковый корм для одомашниваемых животных. Их селекции посвящены статьи В.Т. Синеговской «Научное обеспечение эффективного развития селекции и семеноводства сои на Дальнем Востоке» и В.И. Зотикова, С.Д. Вилюнова «Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России». Авторы отмечают, что соя становится стратегической культурой РФ, а крупяные культуры заняли и стабильно удерживают важное место в рационе россиян.

Селекция подсолнечника, основной масличной культуры РФ, рассмотрена в статье В.М. Лукомца с соав-

торами «Современные тренды селекционно-генетического улучшения сортов и гибридов подсолнечника во ВНИИМК». ВНИИМК наряду с Институтом растениеводства им. В.Я. Юрьева (г. Харьков, Украина) (Кириченко и др., 2014) является наиболее успешным центром по селекции подсолнечника и других масличных культур на постсоветском пространстве.

Статья С.Д. Каракотова с сотрудниками «Современные аспекты селекции гибридов сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.)» посвящена селекции сахарной свеклы – главного источника сахара для Европы. Рассмотрены результаты создания односемянных сортов и успешного применения молекулярно-биологических методов для оценки селектуемого материала.

Существующий многолетний дисбаланс в производстве кормов в стране, несмотря на все усилия растениеводов, так и не удается ликвидировать. Не отразилось на этом и существенное сокращение поголовья скота на сельскохозяйственных предприятиях и перераспределение значительных объемов производства животноводческой продукции в личные хозяйства населения (до 50 % в среднем по отрасли) (Семёнов, 2012). Проблема кормов и возможные пути ее решения обсуждаются в статье В.М. Косолапова с соавторами «Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России».

Блок из трех статей посвящен состоянию селекции плодовых и ягодных культур, очень важных для сбалансированного питания населения. В него включены статьи Е.А. Егорова «Селекция винограда – ключевое звено в развитии виноградо-винодельческой отрасли», И.М. Куликова с соавторами «Научное обеспечение ягодоводства России и перспективы его развития» и А.В. Рындина с соавторами «Селекция субтропических и цветочных культур в ФИЦ «Субтропический научный центр РАН»». Отметим, что в последнее время в связи с расширением импортозамещения возрастает интерес как к новым, точнее, хорошо забытым, источникам естественных продуцентов витаминов и биологически активных веществ, так и к селекции субтропических растений и отечественного сортаментов цветочных культур.

Успехи российской селекции лекарственных и ароматических растений рассмотрены в работе И.Н. Коротких с соавторами «Селекция лекарственных и ароматических растений в ВИЛАР: достижения и перспективы». Актуальность данного направления особенно возросла в связи с санкциями и возникшим в РФ дефицитом лекарственного растительного сырья и низким его качеством, не удовлетворяющим требованиям отечественной фармацевтической индустрии.

Российские семеноводы не обеспечивают в достаточных объемах производство семян отечественных сортов

овощных культур (Солдатенко и др., 2020). Современная селекция базируется преимущественно на использовании уже имеющегося генофонда и вовлечении в гибридизацию и дальнейшее улучшение ранее созданных высокопродуктивных сортов. Такая практика привела к значительному снижению биоразнообразия возделываемых видов из-за утраты части генов и/или их аллелей. В рамках традиционной виrowsкой тематики выполнена работа Ю.В. Фотева с коллегами «Генетические ресурсы овощных растений: от селекции нетрадиционных культур к функциональным продуктам питания», в которой рассматриваются перспективы и возможности интродукции нетрадиционных овощных культур в РФ в связи с популярным в последнее время направлением их использования в функциональном питании (Фотев и др., 2018).

Завершает номер аналитический обзор Н.П. Гончарова «Научное обеспечение селекции и семеноводства Сибири в XXI в.». В нем отмечена важность селекционных работ в развитии экономики страны и необходимость сохранения пока еще существующих научно-исследовательских учреждений и структурных подразделений бывших селекционных центров Сибири. В противном случае будет утрачена преемственность селекционных работ в зональном разрезе, а созданный поколениями российских ученых уникальный селекционный материал – безвозвратно утерян. Остро стоят вопросы: почему государство и регионы не в состоянии эффективно защитить свою интеллектуальную собственность и сохранить уникальное биоразнообразие возделываемых растений? Что или кто им постоянно мешает? Эти характерные для Сибири проблемы, в том числе обеспеченность высококвалифицированными кадрами селекционеров, касаются и других регионов страны.

В некоторых статьях отмечается необходимость незамедлительного решения злободневной задачи – подготовки в вузах селекционеров как важнейшего фактора национальной продовольственной безопасности страны. Веками ничего не меняется: еще на рубеже XIX и XX вв. А.С. Ермолов (1891) усматривал причину отсталости сельского хозяйства России в отсутствии развитой системы сельскохозяйственного образования и элементарной научной грамотности крестьян.

Уместно сказать несколько слов о публикационной политике Минобрнауки РФ и Президиума РАН. Это большой вопрос не только для аграриев, но и для всего российского научного сообщества. Политика государства по импортозамещению¹ почему-то не касается научной издательской деятельности. Головной журнал «Селекция и семеноводство» уже давно не издается. Отраслевые растениеводческие журналы по конкретным культурам или их группам требуют особого подхода в силу национальных особенностей, так как агрономия в широком смысле слова, как писал А.Н. Энгельгардт (1987), имеет строго выраженную «национальную» специфичность: «...нет химии русской, английской или немецкой, есть только общая всему свету химия, но агрономия может быть русская, или английская, или немецкая.

«...» Мы должны создать свою, русскую агрономическую науку, и создать ее могут только совместные усилия ученых и практиков, между которыми необходимы практики, теоретически подготовленные» (с. 190). Неоднократно отмечалось, что для разных отраслей российской науки нужны свои национальные площадки (журналы) для общения и эффективного обмена информацией. Так, например, по мнению А.В. Юревич, И.П. Цапенко (2013), большинство отечественных статей в области социогуманитарных наук не годятся для международных журналов не в силу своих содержательных недостатков, а из-за национальных особенностей их тематики. Приблизить же исследования к тематике международных журналов и, соответственно, удалиться от наиболее злободневных задач РФ означало бы для отечественных исследователей вызвать в нашем обществе устойчивое мнение, что деньги российских налогоплательщиков тратятся учеными впустую. Следовательно, чем патриотичней та или иная наука, чем больше она ориентирована на решение проблем своей страны, тем меньше она вписывается в международный контекст. Даже на примере востребованности трудов Н.И. Вавилова мы видим, что большая их часть западным коллегам «не интересна», хотя идейно она очень важна для развития современной мировой науки. Ни Минобрнауки РФ, ни нынешний Президиум РАН не видят места отечественным журналам в мировом научном пространстве. Как ни печально, для российских чиновников импортозамещение затратно, поэтому публикационная политика – в настоящий момент самое слабое место российской науки. Отдельно отметим, что при публикации в зарубежных журналах не защищена интеллектуальная собственность российских ученых и РФ. Кроме того, из-за безденежья информация, опубликованная в западных престижных журналах, часто становится недоступной отечественному сообществу (Горбунов-Посадов, 2020).

Уже много лет отличительной чертой селекции в РФ является образовательная функция генетических знаний. Например, в Сибири с 1976 г. регулярно проводились селекционно-генетические школы (Цильке, 2005), была общесибирская программа ДИАС (Драгавцев и др., 1984). К сожалению, образовательный разрыв между селекцией и современной молекулярной биологией не заполнен.

Академик И.И. Артоболевский (1967) совершенно обоснованно считал, что пропаганда достижений науки – первоочередной долг ученых. Попытаемся ответить на вопрос, почему ведущие отечественные селекционные школы недостаточно часто, интенсивно и охотно используют современные достижения молекулярной биологии, биотехнологии и IT-технологий. Отметим, что в России в настоящее время есть значимые селекционные результаты, полученные с помощью молекулярно-биологических методов (Беспалова и др., 2012; Pershina et al., 2020; и др.). Проводятся перспективные работы, открывающие новые возможности перед селекцией. Например, ИЦиГ СО РАН принял участие в сборке генома пшеницы (IWGSC..., 2018). И здесь мы в начале пути, так как информации о последовательности генома одного образца любого вида возделываемых растений недостаточно для охвата всего спектра внутривидового разнообразия, включающего в себя массу фенотипических вариаций. Создание общего генома (пангенома) для возделываемых видов является

¹ Импортзамещение – процесс замещения импортных товаров и услуг товарами и услугами отечественного производства. Подразумевает сокращение доли иностранных производителей на рынке и оперативное удовлетворение потребительского спроса продукцией отечественного производства.

обязательным шагом после установления эталонной последовательности генома этих хозяйственно важных растений. Несомненно, это ключевой этап селекции будущего (Пронозин и др., 2021). При этом низкая глубина секвенирования даже основной для РФ зерновой культуры – мягкой пшеницы, затрудняет широкое использование пангеномного анализа (Rasheed, Xia, 2019).

Ряд важных вопросов, касающихся применения IT-технологий в селекции, рассмотрен в более раннем выпуске «Вавиловского журнала генетики и селекции» (№ 1 за 2021 г.), и здесь мы их касаться не будем. Тем не менее технологический разрыв между производительностью геномного анализа и описанием фенотипа растений все еще существенен, поскольку при работе над созданием нового сорта следует исходить из существующих реалий, учитывая требования как ближайших лет, так и далекой перспективы. Последние технологические достижения в области геномики возделываемых растений, бесспорно, открывают новые возможности для выявления генетических вариаций признаков, представляющих интерес для селекции, и позволяют создавать сорта нового поколения. Придя на помощь селекционерам, они обеспечивают быстрое, точное, массовое описание фенотипов растений, как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Функциональная геномика служит ключом к молекулярной селекции и основой для разработки диагностических маркеров для интрогрессии генов и селекции с использованием молекулярных маркеров. Прогресс клонирования функциональных генов у культурных растений был медленным, и только малое число генов клонировано с использованием традиционного позиционного клонирования. В то же время, например, SNP arrays для высокоплотного генотипирования пшеницы (Wang et al., 2014; Allen et al., 2017; Cui et al., 2017) и их видов-сородичей (Winfield et al., 2016), а также описание и внедрение функциональных генов теперь возможны с использованием высокопроизводительных маркеров KASP методом ПЦР (Rasheed et al., 2016). Однако очевидно, что не последнюю роль в применении данных методов в ординарной селекции играет экономический фактор, поскольку эти методы еще не скоро станут широко распространенными, дешевыми и рутинными (Rasheed, Xia, 2019).

Характерной чертой современной экономики, в том числе и в растениеводстве, является доминирование инноваций в качестве фактора, обеспечивающего конкурентоспособность и экономический рост в долгосрочной перспективе. Может ли молекулярная биология выступать как инновационный фактор в селекции растений – вопрос открытый. Сегодня только предселекция (оценка исходного селекционного материала) – реальное поле приложения новейших молекулярно-биологических методов. Однако и она понимается по-разному молекулярными биологами (Rasheed et al., 2016; Riaz et al., 2018), генетиками (Гончаров Н.П. и др., 2020) и селекционерами (Беспалова и др., 2012). При этом взгляды на саму селекцию (оценку селекционного материала и применения схем отборов) схожи. Молекулярно-биологические методы широко используются для ускорения отборов при стабилизации селекционного материала (Адонина и др., 2021), его гомозиготизации посредством получения дигаплоидов (Perzhina et al., 2020) и др. Так, за счет «удаления» герми-

плазмы диких видов в потомствах перспективных интрогрессионных гибридов ускоряется процесс создания перспективного селекционного материала (Leonova et al., 2020) и появляется возможность минимизировать размеры фрагментов генетического материала отдаленных видов в геноме селектируемых видов (Адонина и др., 2021). Это делается в целях снижения отрицательного влияния сопутствующего генетического материала, перенесенного вместе с полезными селектируемыми целевыми генами. Показана возможность проведения эффективных отборов по молекулярным маркерам на короткостебельность (Kroupin et al., 2020; Сухих и др., 2021), скороспелость (Kroupin et al., 2020) и др. Однако селекция на такие важные признаки, как продуктивность и качество, все еще ведется классическими методами.

Очень сложен и вопрос об оценке эффективности использования редактирования возделываемых растений с помощью CRISPR/Cas-технологий, работающих с единичными функциональными генами (Chen et al., 2020); иными словами, непонятно, является ли моногенная селекция, обычно имеющая дело одновременно со многими сотнями функциональных генов, «прорывной» технологией. Как правило, нет таких единичных генов, замена которых привела бы к стабильному долгосрочному селекционному успеху. Кроме того, у отредактированных растений высока соматическая изменчивость. Из положительных моментов следует отметить, что инструментарий и методы трансформации растений приводят к четким изменениям их фенотипов и могут давать выигрыш за счет сверхэкспрессии генов и других манипуляций, ранее не доступных для использования селекционерами (Borisjuk et al., 2019).

Серьезный прогресс с применением новейших технологий связан с крупными семеноводческими компаниями, в которых под одной крышей работают селекционеры, генетики и молекулярные биологи. Например, DuPont-Pioneer разработали концепцию Seed Production Technology, эффективно сочетающую традиционную гибридизацию с трансгенными методами создания мужскостерильных (МС) линий, отбором гибридов и методами поддержки таких линий (Wu et al., 2016). Посредством редактирования генома получены ядерные МС-линии, иллюстрирующие применимость этой концепции для пшеницы (Okada et al., 2019). Ряд других новейших технологий для создания гибридов суммирован в обзоре (Chen et al., 2020). Как скоро они могут стать рутинными для селекционных институтов – неизвестно.

Скруплезный анализ селекционного процесса неоднократно был выполнен. Тем не менее, насколько влияют смены парадигмы селекции на ускорение селекционного процесса и достижение поставленных целей – вопрос открытый (см. рисунок). За последние десятилетия традиционные программы улучшения сельскохозяйственных культур с использованием гибридизации и, в гораздо меньшей степени, химического и радиационного мутагенеза, гетерозиса и полиплоидии сыграли значительную роль в повышении урожайности и качества продукции у многих из них. Однако «век глобализации» обуславливает поиск новых высокоэффективных методов. Многие потенциально революционные методы как пришли, так и ушли из арсенала ученых, оставив след только в истории



Основные вехи, связанные с появлением новых прорывных технологий в селекции растений (из: Колчанов и др., 2017).

селекции. Старшее поколение помнит моносомные линии, которые позволяли создавать сорта с ограниченной рекомбинацией и быстро «ремонтить» существующие сорта-шедевры. Правда на создание моносомных линий уходило по 15–20 лет. За это время селекционеры, работающие классическими методами, успевали несколько раз поменять весь сортимент и создать новые сорта-шедевры. Естественно, ни одного коммерческого сорта данным методом так и не было получено, несмотря на огромные объемы работ (Worland, 1988). Протопласты (Глеба, Сытник, 1984), изоферменты и многое другое, новейшее для своего времени, не изменили парадигмы селекции (см. рисунок). Интересно, что прорывные технологии, такие как доместикация или «зеленая революция» (улучшение сортимента пшеницы и риса), были осуществлены «традиционным» отбором и зависели от выбора ключевых признаков, без знания генетических и/или молекулярных механизмов их наследования.

Одна из целей внедрения новых технологий – это ускорение процессов создания и внедрения новых сортов, которое власть предержащие почему-то понимают как сокращение срока выведения сортов и ставят во главу угла. Проблема надуманная: в мощных селекционных учреждениях при постановке на поток получения линеек новых сортов сроки передачи последних в ГСИ незначительны. Нынешние молекулярно-биологические стахановцы не оригинальны. Уместно вспомнить известную байку о выведении Т.Д. Лысенко с сотр. (1935) сорта мягкой пшеницы Лютесценс 1163 за 2.5 календарных года с использованием ноу-хау – теплиц, работой с уже готовыми гибридами, а не исходными сортообразцами и оставлением «за кадром» конкурсного и ГСИ. Печально, что и в XXI в. стахановские методы «создания» сортов опять выходят на государственный уровень.

Уже Н.И. Вавилов, уподобляя генетика создателю, считал, что генетик «должен действовать как инженер, он не только обязан изучать строительный материал, но он может и должен строить новые виды живых организмов»². Задачи

кардинально не изменились, изменился (расширился) только инструментарий.

Хорошо известно, что и генетика, и селекция, имеющие дело с наследственностью и изменчивостью, взаимопроникают отдельными своими частями. Селекция использует законы наследственности, вскрытые генетикой, генетика, в свою очередь, черпает в селекции данные для обобщения (Гончаров Н.П., Гончаров П.Л., 2018). Пока генетики искали пути преодоления «пропасти» между генетикой и селекцией (Драгавцев, 2005), молекулярная биология многие из них просто «отменила» (Moose, Mumm, 2008; Heffner et al., 2009; Abd-Elsalam, Lim, 2018; Ahmar et al., 2020). Как отмечено выше, в селекции появился новый инструментарий, породивший бесконечные дискуссии – а надо ли его широко использовать? Однозначно понятно, что знать новые методики и уметь ими пользоваться – это обязательно. Однако наука в XXI в. все больше бизнес. Провести современное исследование – бизнес. Получить результаты – тоже. Опубликоваться в высокорейтинговых западных журналах – бизнес. В последнем случае для того, чтобы «удачно», с точки зрения Минобрнауки РФ, опубликоваться, надо обязательно использовать часто не нужное по логике работы *новейшее дорогостоящее* оборудование. Даже организация селекционного процесса стала бизнесом, так как развитие растениеводства все чаще рассматривается только как оказание сельскохозяйственных услуг. Все это очень похоже на пресловутую «гонку вооружений». И победить в ней мы можем, только предложив свои правила игры.

Наука в России сегодня все в большей степени приобретает прикладной технологический характер (Ракин, 2020). Во многих европейских странах, включая бывшие члены СЭВ, селекция под давлением транснациональных агрохимических холдингов становится частной. Отсюда список приоритетных научных направлений, активно внедряемый инновационный принцип получения грантов РФ, технологическая направленность разделов Национального проекта «Наука» и др. Национальные фонды РФ не нацелены на серьезную поддержку таких фундаментальных исследований, как селекция. Только освоение и сохранение навыков и технологий. Поэтому значимым фактором является поиск альтернативных масштабных источников финансирования аграрной науки, в том числе селекции XXI в.

В заключение отметим, что селекция XXI в. напрямую связана с одним из глобальных вызовов человечеству – решением проблемы голода. На 22-й сессии ФАО ООН 31 октября 1996 г. была принята «Римская декларация о всемирной продовольственной безопасности»³, которая ставила целью не позднее 2015 г. сократить число голодающих на планете вдвое в сравнении с 800 млн на 1996 г. Фактически же, согласно отчету немецкой благотворительной организации Welthungerhilfe, количество голодающих к 2020 г. возросло до одного миллиарда⁴. Нынешний медленный прогресс в повышении урожайности от 0.8 до 1.0 % в год делает невозможным выполнение требований по производству пшеницы, риса и ку-

³ URL: <http://www.fao.org/3/w3613e/w3613e00.htm> (Дата обращения 01.02.2021).

⁴ <https://www.welthungerhilfe.org/news/press-releases/2020/annual-report-2019/>

² Вечерняя Москва. 1929. 17 янв.

курузы в объемах, необходимых для того, чтобы победить голод в мировом масштабе.

Итак, в повышении эффективности мирового растениеводства важная роль по-прежнему принадлежит сортам, поэтому в селекции идет поиск более рациональных и эффективных приемов их создания при наименьших затратах. Всестороннее рассмотрение этих вопросов – одна из задач данного выпуска журнала.

Список литературы / References

- Адонина И.Г., Тимонова Е.М., Салина Е.А. Интрогрессивная гибридизация мягкой пшеницы: результаты и перспективы. *Генетика*. 2021;57(4):384-402. DOI 10.31857/S0016675821030024. [Adonina I.G., Timonova E.M., Salina E.A. Introgressive hybridization of common wheat: results and prospects. *Russ. J. Genet.* 2021;57(4):390-407. DOI 10.1134/S1022795421030029.]
- Артоболевский И.И. Пропаганда достижений науки – первоочередной долг ученых. *Вестн. АН СССР*. 1967;6:33-38. [Artobolevskiy I.I. Popularization of scientific achievements is the preferential debt of scientists. *Vestnik AN SSSR = Herald of the USSR Academy of Sciences*. 1967;6:33-38. (in Russian)]
- Беспалова Л.А., Васильев А.В., Аблова И.Б., Филобок В.А., Худокормова Ж.Н., Давоян Р.О., Давоян Э.Р., Карлов Г.И., Соловьев А.А., Дивашук М.Г., Майер Н.К., Дудников М.В., Мироненко Н.В., Баранова О.А. Применение молекулярных маркеров селекции пшеницы в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):37-43. [Bespalova L.A., Vasilyev A.V., Ablova I.B., Filobok V.A., Khudokormova Zh.N., Davoyan R.O., Davoyan E.R., Karlov G.I., Soloviev A.A., Divashuk M.G., Mayer N.K., Dudnikov M.V., Mironenko N.V., Baranova O.A. Use of molecular markers in wheat breeding at the Lukyanenko Krasnodar Research Institute of Agriculture. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):37-43. (in Russian)]
- Глеба Ю.Ю., Сытник К.М. Клеточная инженерия растений. Киев: Наук. думка, 1984. [Gleba Yu.Yu., Sytnik K.M. Cell Engineering of Plants. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1984. (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Богуславский Р.Л., Орлова Е.А., Белоусова М.Х., Аминов Н.Х., Коновалов А.А., Кондратенко Е.Я., Гульятеева Е.И. Устойчивость амфилоидов пшениц к возбудителю бурой ржавчины. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;6(3):95-106. DOI 10.18699/Letters2020-6-14. [Goncharov N.P., Boguslavsky R.L., Orlova E.A., Belousova M.Kh., Aminov N.Kh., Kononov A.A., Kondratenko E.Ya., Gulyaeva E.I. Leaf rust resistance in wheat amphidiploids. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(3):95-106. DOI 10.18699/Letters2020-6-14. (in Russian)]
- Гончаров Н.П., Гончаров П.Л. Методические основы селекции растений. Изд. 3-е, испр. и доп. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2018. [Goncharov N.P., Goncharov P.L. Methodical Bases of Plant Breeding. 3rd edn. Novosibirsk: Acad. Publ. House "Geo", 2018. (in Russian)]
- Горбунов-Посадов М.М. Научная публикация в России: для чего и как? *Вестн. РАН*. 2020;90(1):35-39. DOI 10.31857/S0869587320010053. [Gorunov-Posadov M.M. Scientific publication in Russia: why and how? *Vestnik RAN = Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2020;90(1):45-48. DOI 10.1134/S1019331620010050. (in Russian)]
- Госпадинова В.И., Гаркуша С.В., Харитонов Е.М., Есаулова Л.В. Повышение конкурентоспособности российского риса – путь к импортозамещению. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(8):102-104. [Gospadinova V.I., Garkusha S.V., Kharitonov E.M., Esaulova L.V. Competitive recovery of Russian rice is a way to import substitution. *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(8):102-104. (in Russian)]
- Драгавцев В.А. О «пропастях» между генетикой и селекцией растений и путях их преодоления. В: Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР им. Н.И. Вавилова, 2005; 13-19. [Dragavtsev V.A. "Gaps" between genetics and plant breeding and ways to overcome them. In: Identified Plant Gene Pool and Breeding. St. Petersburg: VIR Publ., 2005;13-19. (in Russian)]
- Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г., Воробьев В.А., Дубровская А.Г., Коробейников Н.И., Новохатин В.В., Максименко В.П., Бабакишиев А.Г., Илющенко В.Г., Калашник Н.А., Зуйков Ю.П., Федотов А.М. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. [Dragavtsev V.A., Zilke R.A., Reuter B.G., Vorobiev V.A., Dubrovskaya A.G., Korobeinikov N.I., Novokhatin V.V., Maksimenko V.P., Babakishiev A.G., Ilyushchenko V.G., Kalashnik N.A., Zujkov Yu.P., Fedotov A.M. Genetics of Productivity Traits of Spring Wheat in Western Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. (in Russian)]
- Ермолов А.С. Организация полевого хозяйства. СПб.: А.Ф. Девриен, 1891. [Ermolov A.S. Organization of Farm Economy. St. Petersburg: A.F. Devriyen Publ., 1891. (in Russian)]
- Кириченко В.В., Сивенко В.И., Макляк Е.Н., Сивенко А.А., Сатаров А.З., Лебеденко Е.А., Андриенко В.В., Харитоненко Н.С., Брагин А.Н., Шишман Т.В. Результаты теоретических исследований и их применение в селекции подсолнечника. *Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів*. 2014;12(1):113-121. [Kirichenko V.V., Sivenko V.I., Maklyak E.N., Sivenko A.A., Satarov A.Z., Lebedenko E.A., Andrienko V.V., Haritonenko N.S., Bragin A.N., Shishman T.V. Results of theoretical research and their application in sunflower breeding. *Visnik Ukrainського Товариства Генетиків і Селекціонерів = Herald of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders*. 2014;12(1):113-121. (in Russian)]
- Колчанов Н.А., Кочетов А.В., Салина Е.А., Першина Л.А., Хлесткина Е.А., Шумный В.К. Состояние и перспективы использования маркер-ориентированной и геномной селекции растений. *Вестн. РАН*. 2017;87(4):348-354. [Kolchanov N.A., Kochetov A.V., Salina E.A., Pershina L.A., Khlestkina E.K., Shumny V.K. Status and prospects of marker-assisted and genomic plant breeding. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2017;87(2):125-131. DOI 10.1134/S1019331617020113.]
- Лысенко Т.Д. и др. Подтверждение теоретически ожидаемого. *Яровизация*. 1935;1:3-4. [Lysenko T.D. et al. Confirmation of the theoretically expected. *Yarovizatsiya = Vernalization*. 1935;1:3-4. (in Russian)]
- Прозозин А.Ю., Брагина М.К., Салина Е.А. Пангеномы сельскохозяйственных растений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(1):57-63. DOI 10.18699/VJ21.007. [Pronozin A.Yu., Bragina M.K., Salina E.A. Crop pangenomes. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(1):57-63. DOI 10.18699/VJ21.007.]
- Ракин В.И. Наука – это новое знание или отрасль экономики? *Управление наукой: теория и практика*. 2020;2(3):91-101. DOI 10.19181/smtpr.2020.2.3.5. [Rakin V.I. Science: a search for a new knowledge or a branch of the economy? *Upravlenie Naukoj: Teoriya i Praktika = Science Management: Theory and Practice*. 2020;2(3):91-101. DOI 10.19181/smtpr.2020.2.3.5 (in Russian)]
- Семёнов Е.А. Освоение целинных земель России и Казахстана: предпосылки и экономические итоги. *Вестн. Оренб. гос. ун-та*. 2012;13:318-322. [Semenov E.A. Development of virgin lands in Russia and Kazakhstan: prerequisites and economic results. *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta = Vestnik of the Orenburg State University*. 2012;13:318-322. (in Russian)]
- Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б., Соколова Д.В. Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет. *Труды по прикл.*

- ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):156-166. DOI 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166.
- [Soldatenko A.V., Musayev F.B., Sokolova D.V. The 100th anniversary of the Federal Scientific Vegetable Center, the leader of Russian scientific vegetable growing. *Trudy po Prikladnoj Botanike, Genetike i Selekcii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):156-166. DOI 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166. (in Russian)]
- Сухих И.С., Вавилова В.Ю., Блинов А.Г., Гончаров Н.П. Разнообразие и фенотипический эффект аллельных вариантов генов короткостебельности *Rht* у пшениц. *Генетика*. 2021;57(2):127-139. DOI 10.31857/S0016675821020107.
- [Sukhikh I.S., Vavilova V.Y., Blinov A.G., Goncharov N.P. Diversity and phenotypical effect of the allele variants of dwarfing *Rht* genes in wheat. *Russ. J. Genet.* 2021;57(2):127-138. DOI 10.1134/S1022795421020101.]
- Фотев Ю.В., Пивоваров В.Ф., Артемьева А.М., Куликов И.М., Гончарова Ю.К., Сысо А.И., Гончаров Н.П. Концепция создания российской системы функциональных продуктов питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(7):776-783. DOI 10.18699/VJ18.421.
- [Fotev Yu.V., Pivovarov V.F., Artemyeva A.M., Kulikov I.M., Goncharova Yu.K., Syso A.I., Goncharov N.P. Concept of producing of the Russian national system of functional food. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(7):776-783. DOI 10.18699/VJ18.421. (in Russian)]
- Цильке Р.А. Тридцать лет генетико-селекционной школе. *Вестн. Новосибир. гос. аграр. ун-та*. 2005;2:11-17.
- [Zilke R.A. Thirty years of the genetic breeding school. *Vestnik Novosibirskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University*. 2005;2:11-17. (in Russian)]
- Энгельгардт А.Н. Письма из деревни: очерки о крестьянстве в России второй половины XIX века. М.: Мысль, 1987.
- [Engelhardt A.N. Letters from the Countryside: Essays on Peasantry in Russia in the Second Half of the XIX Century. Moscow: Mysl' Publ., 1987. (in Russian)]
- Юревич А.В., Цапенко И.П. Еще раз об оценке мирового вклада российской науки. В: Альманах «Наука. Инновации. Образование». № 13. – Языки славянской культуры. 2013;60-83.
- [Yurevich A.V., Tsapenko I. P. Once again on the assessment of the Russian contribution to world science. In: Science. Innovation. Education. Vol. 13: Languages of Slavic culture. 2013;60-83. (in Russian)]
- Abd-Elsalam K.A., Lim K.T. Can CRISPRized crops save the global food supply? In: CRISPR and RNAi Systems: Nanobiotechnology Approaches to Plant Breeding and Protection. Elsevier, 2018. DOI 10.1016/B978-0-12-821910-2.00006-0.
- Ahmar S., Gill R.A., Jung K.H., Faheem A., Qasim M.U., Mubeen M., Zhou W. Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: recent advances and future outlook. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(7):2590. DOI 10.3390/ijms21072590.
- Allen A.M., Winfield M.O., Burrige A.J., Downie R.C., Benbow H.R., Barker G.L.A., Wilkinson P.A., Coghill J., Waterfall C., Davassi A., Scopes G., Pirani A., Webster T., Brew F., Bloor C., Griffiths S., Bentley A.R., Alda M., Jack P., Phillips A.L., Edwards K.J. Characterization of a Wheat Breeders' Array suitable for high-throughput SNP genotyping of global accessions of hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Biotechnol. J.* 2017;15:390-401. DOI 10.1111/pbi.12635.
- Borisjuk N., Kishchenko O., Eliby S., Schramm C., Anderson P., Jatayev S., Kurishbayev A., Shavrukov Y. Genetic modification for wheat improvement: from transgenesis to genome editing. *BioMed Res. Int.* 2019;6216304. DOI 10.1155/2019/6216304.
- Chen G., Zhou Y., Kishchenko O., Stepanenko A., Jatayev S., Zhang D., Borisjuk N. Gene editing to facilitate hybrid crop production. *Bio-technol. Adv.* Available online 2020. Publ. 2021;46:107676. DOI 10.1016/j.biotechadv.2020.107676.
- Cui F., Zhang N., Fan X.L., Zhang W., Zhao C.X., Yang L.J., Pan R.-Q., Chen M., Han J., Zhao X.-Q., Ji J., Tong Y.-P., Zhang H.-X., Jia J.-Z., Zhao G.-Y., Li J.-M. Utilization of a Wheat660K SNP array-derived high-density genetic map for high-resolution mapping of a major QTL for kernel number. *Sci. Rep.* 2017;7:3788. DOI 10.1038/s41598-017-04028-6.
- Heffner E.L., Sorrells M.E., Jannink J.L. Genomic selection for crop improvement. *Crop Sci.* 2009;49(1):1-12. DOI 10.3835/plantgenome2010.12.0029.
- IWGSC; Appels R., Eversole K., Feuillet C., Keller B., Rogers J., Stein N., ... Du X., Feng K., Nie X., Tong W., Wang L. Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science*. 2018;361(6403):eaar7191. DOI 10.1126/science.aar719136.
- Kroupin P.Y., Karlov G.I., Bespalova L.A., Salina E.A., Chernook A.G., Watanabe N., Bazhenov M.S., Panchenko V.V., Nazarova L.A., Kovtunen V.Ya., Divashuk M.G. Effects of *Rht17* in combination with *Vrn-B1* and *Ppd-D1* alleles on agronomic traits in wheat in black earth and non-black earth regions. *BMC Plant Biol.* 2020;20(1):304. DOI 10.1186/s12870-020-02514-0.
- Leonova I.N., Skolotneva E.S., Orlova E.A., Orlovskaya O.A., Salina E.A. Detection of genomic regions associated with resistance to stem rust in Russian spring wheat varieties and breeding germplasm. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21:4706. DOI 10.3390/ijms21134706.
- Moose S.P., Mumm R.H. Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant Physiol.* 2008;147(3):969-977. DOI 10.1104/pp.108.118232.
- Okada A., Arndell T., Borisjuk N., Sharma N., Watson-Haigh N.S., Tucker E.J., Baumann U., Langridge P., Whitford R. CRISPR/Cas9-mediated knockout of *Ms1* enables the rapid generation of male-sterile hexaploid wheat lines for use in hybrid seed production. *Plant Biotechnol. J.* 2019;17(10):1905-1913. DOI 10.1111/pbi.13106.
- Pershina L., Trubacheeva N., Badaeva E., Belan I., Rosseeva L. Study of androgenic plant families of alloplasmic introgression lines (*H. vulgare*)–*T. aestivum* and the use of sister DH lines in breeding. *Plants (Basel)*. 2020;9(6):764-816. DOI 10.3390/plants9060764.
- Rasheed A., Wen W., Gao F.M., Zhai S., Jin H., Liu J.D., Guo Q., Zhang Y., Dreisigacker S., Xia X., He Z. Development and validation of KASP assays for functional genes underpinning key economic traits in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 2016;129:1843-1860. DOI 10.1007/s00122-016-2743-x.
- Rasheed A., Xia X. From markers to genome-based breeding in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 2019;132(3):767-784. DOI 10.1007/s00122-019-03286-4.
- Riaz A., Athiyannan N., Periyannan S.K., Afanasenko O., Mitrofanova O.P., Platz G.J., Aitken E.A.B., Snowdon R.J., Lagudah E.S., Hickey L.T., Voss-Fels K.P. Unlocking new alleles for leaf rust resistance in the Vavilov wheat collection. *Theor. Appl. Genet.* 2018; 131(1):127-144. DOI 10.1007/s00122-017-2990-5.
- Wang S.C., Wong D.B., Forrest K., Allen A., Chao S.M., Huang B.E., Mikoulitch I., Cavanagh C., Edwards K.J., Hayden M., Akhunov E. Characterization of polyploid wheat genomic diversity using a high-density 90000 single nucleotide polymorphism array. *Plant Biotechnol. J.* 2014;12:787-796. DOI 10.1111/pbi.12183.
- Winfield M.O., Allen A.M., Burrige A.J., Barker G.L., Benbow H.R., Wilkinson P.A., Coghill J., Waterfall C., Davassi A., Scopes G., Pirani A., Webster T., Brew F., Bloor C., King J., West C., Griffiths S., King I., Bentley A.R., Edwards K.J. High-density SNP genotyping array for hexaploid wheat and its secondary and tertiary gene pool. *Plant Biotechnol. J.* 2016;14:1195-1206. DOI 10.1111/pbi.12485.
- Worland A.J. Catalogue of monosomic series. In: Proceed. 7th Int. Wheat Genet. Symp. Cambridge, 1988;2:1399-1403.
- Wu Y., Fox T.W., Trimmell M.R., Wang L., Xu R.J., Cigan A.M., Huffman G.A., Garnaat C.W., Hershey H., Albertsen M.C. Development of a novel recessive genetic male sterility system for hybrid seed production in maize and other cross-pollinating crops. *Plant Biotechnol. J.* 2016;14(3):1046-1054. DOI 10.1111/pbi.12477.