СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ, 2017, том 52, № 3, с. 429-436

Агрофизический институт: от физических исследований к практике растениеводства (1932-2017)

УДК 631/635:631.58:551.5:57.087 doi: 10.15389/agrobiology.2017.3.429rus

УПРАВЛЕНИЕ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ — ФИЗИКО-АГРОНОМИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ*
(к 85-летию Агрофизического научно-исследовательского института)

И.Б. УСКОВ, В.П. ЯКУШЕВ, Ю.В. ЧЕСНОКОВ

Агрофизика как самостоятельная научная дисциплина сформировалась благодаря достижениям физики, математики, биологии и почвоведения, обеспечивших переход к агрономии, основанной на измерениях и расчетах факторов роста, развития растений и продуктивности посевов, на вычислениях агроприемов и технологий управления продукционным процессом в агроэкосистеме. В Агрофизическом институте проводятся исследования по компьютерному проектированию агротехнологий и контролю их применения в полевых условиях. Современная концепция точного земледелия предполагает использование прецизионной сельскохозяйственной техники с системами позиционирования и датчиками, географических информационных систем. В то же время она не может быть реализована без развития современных генетико-селекционных подходов, расширяющих возможности точного земледелия (на уровне как популяций, так и индивидуального растения в зависимости от эколого-географических условий), а также ускорения селекционного процесса по выведению сортов для адресного применения в технологиях точного земледелия. Так, в двух экспериментах, различающихся только режимом освещенности и температуры, идентифицировали 99 QTL (quantitative trait loci), определяющих 30 различных агрономически значимых признаков у яровой мягкой пшеницы. По результатам QTL- и однофакторного дисперсионного анализа установлено, что при изменении температурного режима и режима освещенности из 30 оцененных признаков 21 сохранял стабильность и только девять варьировали, что отражало зависимость их проявления от температурного режима и освещенности. Понимание эффектов картированных QTL создает предпосылки для анализа их идентифицированных корреляций и установления взаимодействия QTL—окружающая среда в естественных условиях. Использование этих данных в конкретных эколого-географических условиях способствует реализации генетических детерминант, определяющих проявление и физиолого-генетический контроль хозяйственно ценных признаков.

Ключевые слова: агрофизика, физика почв, почвоведение, точное земледелие, факторы роста и развития растений, физиология и биохимия продуктивности, селекционно-генетический анализ.

В России основоположниками агрономической физики в конце X1X столетия были выдающиеся растениеводы, почвоведы, агрономы и климатологи — К.А. Тимирязев и В.Р. Вильямс, В.В. Докучаев и П.А. Костычев, А.А. Измаильский и А.Г. Дояренко, А.И. Воейков и Н.И. Вавилов, впервые сформулировавшие задачу агрономической физики как изучение физических факторов в жизни растений (1). В 1930-1931 годах в Физико-техническом институте АН СССР агрофизические исследования организовал академик А.Ф. Иоффе, что по времени совпало с созданием институтов президентом ВАСХНИЛ академиком Н.И. Вавиловым и соответствовало его представлениям о роли климатических и физических факторов среды в формировании свойств и продуктивности видов. Н.И. Вавилов поддержал предложение А.Ф. Иоффе. Решением Коллегии Народного Комиссариата земледелия СССР от 5 января 1932 года и Президиума ВАСХНИЛ № 89 от 7 января 1932 года был основан Физико-агрономический институт — ФАИ, ныне Агрофизический научно-исследовательский институт — АФИ.

Научные принципы и ретроспектива. По мнению А.Ф. Иоффе — первого директора АФИ, агрофизические исследования были призваны обеспечить превращение агрономии из описательной в основанную на измерениях и расчетах, вычислениях агроприемов и технологий, управляющих продукционным процессом на полях. Сформулированные им задачи

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-04-00311-а).

(2) оказались настолько фундаментальными, что остаются стратегическими вехами современной агрофизики. Была определена необходимость группировать факторы управления агроэкологическими системами в пять блоков: световой, тепловой, влажностный, атмосферный и почвенный во взаимосвязи с растительным ценозом. Современные направления включают изучение фундаментальных закономерностей функционирования агроэкологических систем; разработку основ, методов и средств, в том числе информационных, для исследования физических, физико-химических, биологических, биофизических процессов в системе почва—растение—деятельный слой атмосферы и управления продуктивностью агроэкологических систем (устойчивое земледелие и растениеводство в природных и регулируемых условиях); создание имитационных математических моделей процессов и технических средств сбора информации о состоянии растений и сред их обитания в условиях непрерывной стохастической изменчивости (1).

В 1930-е годы в АФИ работали известные ученые — основоположник экологической физиологии растений академик Н.А. Максимов, физики Д.Л. Талмуд, П.П. Кобеко, биофизик Г.М. Франк, почвоведы Ф.Е. Колясев, П.В. Вершинин, физиолог растений В.П. Мальчевский.

По инициативе Н.А. Максимова в АФИ была создана лаборатория светофизиологии, где энергетическую и регуляторную функцию света изучали в условиях электрического освещения. В опытах В.П. Мальчевского по оценке влияния факторов освещенности на анатомию, биохимический состав, скороспелость и продуктивность у более чем 50 видов растений для многих была установлена возможность получения нескольких урожаев в год. Д.А. Федоров и В.А. Карфункель обосновали применение ацетилцеллюлозной пленки вместо стеклянных покрытий парников. Б.С. Мошковым, возглавлявшим лабораторию светофизиологии и светокультуры с 1945 по 1988 годы, была создана научная школа по изучению физиологических механизмов фотопериодизма (Б.С. Мошков, В.И. Разумов, М.Х. Чайлахян). Б.С. Мошков также открыл физиологическую роль листа как органа, определяющего фотопериодические реакции, и впервые доказал, что эти реакции вовлечены в формирование скороспелости, продуктивности и устойчивости к различным воздействиям. Изучение несуточного чередования света и темноты, длиннодневных и короткодневных фотопериодов, прерывания темноты светом разного спектрального состава, заменой темноты инфракрасным излучением позволило смоделировать переход длиннодневных и короткодневных растений от роста к репродукции с учетом роли фитохрома, биологических часов, биохимических и других изменений. Уделялось внимание локализации восприятия фотопериодического воздействия, индукция вегетативного и семенного размножения. Идея о всеобъемлющей функции фотопериодической реакции оказалась исключительно плодотворной (3). В 1980-е годы Б.С. Мошков предложил концепцию ювенильного периода, особенность которого состоит в независимости его длительности от освещенности и температуры. Практический итог светофизиологических исследований — разработка методов управления скороспелостью и продуктивностью в условиях светокультуры, в защищенном и открытом грунте.

Биофизические и радиобиологические подходы использовались при создании аппаратуры для определения устойчивости растений к стрессам по интенсивности термоиндуцированной хемилюминесценции. Разработаны электрофизиологические методы анализа жизнеспособности растительных тканей и молекулярно-генетической оценки потенциальной продуктивности растений и семян. Применяется рентгеновская экспресс-диагностика выполненности и поврежденности семян, радиоактивное облучения семян (4),

обработки магнитными и электромагнитными полями для повышения посевных и урожайных качеств (Г.Р. Рик, Н.Ф. Батыгин, М.В. Архипов, В.Н. Савин, В.Ф. Николенко, Е.Э. Гак). В.Г. Кармановым предложены неинвазивные методы динамического исследования движения воды в проводящих сосудах стеблей, поступления воды в корни, интенсивности дыхания и фотосинтеза, электрофизиологических количественных характеристик органов при изменении освещенности, температуры, влагообеспеченности, минерального питания. Их развитием стали системы фитомониторинга растений и управления условиями среды с участием растения в качестве сенсора (В.Г. Карманов, О.О. Лялин, С.С. Радченко, С.Н. Мелещенко). Несколько поколений первых отечественных установок искусственного климата комплектовались устройствами для суточного регулирования температуры, влажности, интенсивности и спектра светового потока, газового состава воздуха и др. Различные типы фитотронов создавались для исследовательских, селекционных и агротехнологических задач.

Биокибернетические подходы развивались в институте с середины 1960-х годов. В АФИ был организован первый в системе сельскохозяйственных учреждений вычислительный центр, послуживший прототипом аналогичных структур в системе Минсельхоза СССР и ВАСХНИЛ (5).

Предложенные Е.И. Ермаковым ресурсосберегающие способы выращивания сельскохозяйственных культур на искусственных корнеобитаемых средах заложили основы промышленной экологически безопасной интенсивной технологии круглогодичного выращивания овощей (1).

Почва с высокой пористостью, большими размерами пор и меньшей плотностью активнее регулирует физические и биологические процессы, чем микроагрегатная или бесструктурная (6). П.В. Вершининым, И.А. Романовым, О.А. Агафоновым, Т.Н. Даниловой показано, что использование поверхностно-активных веществ и искусственных структурообразователей, в том числе полимерных, позволяет повышать влагообеспеченность корнеобитаемого слоя, доступность почвенной влаги для растений, водопрочность почвенных агрегатов, усиливать их гидрофильность и механическую прочность, улучшать водно-физические характеристики солонцеватых почв и иллювиального горизонта подзолистых почв, другие важные почвенные характеристики. В исследованиях 1960-1980-х годов (И.Б. Ревут, А.В. Судаков) получила развитие теория минимальной обработки почвы, позволяющей получать достаточно высокие урожаи при сохранении почвенных условий, ресурсо- и энергосбережении.

В гидрофизике почв разрабатывалась количественная теория движения влаги, методы оценки скорости ее движения, испарения, конденсации, транспирации и их регулирования, водообеспеченности растений (С.В. Нерпин, Б.Н. Мичурин, Н.Ф. Бондаренко, А.М. Глобус) (7). В теплофизике (8) выявили механизмы теплопередачи, роль минералогического состава, плотности и влажности почвы в интенсивности теплопереноса. Разработаны методы изучения радиационного и теплового баланса деятельной поверхности, обоснованы приемы его регулирования. Важным результатом стало создание теплобалансографа для исследовательских целей и автоматизации поливов (компьютерный вариант устройства использует современную элементную базу). Для задач управления микроклиматом полей были предложены технические средства регистрации параметров приземного слоя воздуха (М.А. Каганов, Б.Л. Шиндеров, Ю.Л. Розеншток) (9).

Развитием теории процессов энерго- и массообмена в системе почва—растения—атмосфера (10) стали имитационные динамические и базовые модели продуктивности агроэкосистем, математическая теория дина-

мики популяций с учетом генетической, возрастной и половой структуры, решался ряд прикладных задач управления популяциями одноклеточных организмов в системах искусственного культивирования (11).

В последующие годы в АФИ разрабатывались агротехнические приемы выращивания растений в условиях Севера (12), применения светопрозрачных полимерных материалов для тепличного грунта (13) и «физических удобрений» (14), технологии использования полупроводниковых материалов в средствах измерения, сельскохозяйственных устройствах энергетического и холодильного назначения (15). В последнее время развиваются такие новые направления, как биореставрация почв, загрязненных ядовитыми формами органических веществ (16, 17), построение теории расчета онтогенеза растений на основе вычислительных аналогов (18, 19). С оптимизацией минерального питания и физического состояния пахотного горизонта сопряжены вопросы известкования кислых почв (20). При этом в числе основных задач остается создание автоматизированных систем управления технологическими процессами в растениеводстве и земледелии.

Система точного земледелия. Знания о климатической обеспеченности урожаев в разных зонах, разработанные методы мониторинга состояния растений и среды их обитания, математическое моделирование позволяют оптимизировать управление агротехнологиями в полевых условиях на больших площадях. Точное земледелие (ТЗ) как новая парадигма растениеводства по существу была впервые в мировой науке сформулирована основателем и первым директором АФИ А.Ф. Иоффе в середине XX века в виде концепции «электронного агронома» (2), полная реализация которой стала возможна благодаря развитию современных средств информатизации. В ТЗ поле рассматривается как совокупность однородных (квазиоднородных) участков с разными показателями плодородия и (или) состояния посева. Если различия агрономически существенны, то обработки соответствующим образом дифференцируют. Локальной корректировкой технологического воздействия управляют бортовые компьютеры сельскохозяйственных агрегатов. Прецизионность повышается при использовании геостатистических подходов, системы ГЛОНАСС, дистанционного зондирования Земли, других методов оценки внутриполевой вариабельности.

Компьютерное проектирование и сравнение эффективности технологий разной интенсивности в модельных опытах (21-23) стали основой отечественных систем ТЗ. В 2005-2015 годах производственные испытания подтвердили их перспективность для обеспечения высокой (не менее 5-6 т/га) урожайности зерна с повышенным содержанием белка независимо от почвенно-климатических условий. При этом затраты на агрохимикаты и удобрения сокращались на 25-30 %, экологическая нагрузка на среду — на 35-60 %; окупаемость удобрений и средств защиты растений повышалась в 1,5-1,7 раза, а экономический эффект составил 840-1460 р/га (24).

Для практики точного сельского хозяйства важно развивать интеллектуальные системы реализации агротехнологических решений, улучшать измерительные комплексы, программные средства контроля и прогнозирования состояния почвы, развития сорняков, болезней, вредителей и пр., последствий применяемых приемов. Это, в свою очередь, требует продолжения углубленных фундаментальных исследований продукционного процесса растений, взаимодействий генотипа и среды, сортовых особенностей на современном генетико-селекционном уровне.

QTL-анализ в агрофизических исследованиях и совершенствовании точного земледелия. Один из биологических подходов, способных расширять возможности точного земледелия на уровне как популя-

ций (для соответствующих эколого-географических условий), так и единичного растения, — применение анализа локусов количественных признаков QTL (quantitative trait loci), который позволяет ускорить селекцию сортов для адресного включения в системы ТЗ.

Описано использование QTL-анализа для картирования идентифицированных QTL, их клонирования и интродукции в селекционно значимые генотипы при традиционной гибридизации (25). Локус, определяющий размер плода у растений томата, — это классический пример идентификации QTL и первый опыт клонирования фрагмента хромосомы, детерминирующего количественный хозяйственно ценный признак у возделываемого вида (26). В России с 2005 по 2016 годы на экспериментальных полях в разных географических точках (Ленинградская обл., Московская обл., Самарская обл., Кировская обл., республики Дагестан и Адыгея) выполнена идентификация и молекулярно-генетическое картирование QTL морфологических и хозяйственно ценных признаков у *Triticum aestivum* L. (27, 28) и *Brassica rapa* L. (29, 30). В АФИ в 2012-2013 годах впервые провели картирование QTL в условиях агроэкобиополигона, что позволило также впервые выявить у яровой мягкой пшеницы хромосомные локусы, определяющие проявление хозяйственно ценных признаков в контролируемых условиях.

Помещения агроэкобиополигона изолированы от всех внешних воздействий, оснащены системами контроля и регуляции микроклимата для круглогодичного интенсивного выращивания растений разной высоты (последнее особенно важно для сельскохозяйственных культур), аппаратурой для дистанционной и контактной диагностики физиологического и морфобиологического состояния объектов при выращивании в вегетационных сосудах или на наполненных торфогрунтом стеллажах (31, 32). В воспроизводимых условиях (заданные контрастные режимы по исследуемым факторам при неизменности остальных параметров) в течение ряда вегетаций при круглогодичном выращивании Е.И. Ермаковым с соавт. (31) и Г.Г. Пановой с соавт. (32) у пшеницы выявлены закономерности наследования продолжительности периодов онтогенеза всходы—выход в трубку, выход в трубку—колошение и уточнен ряд теоретических положений относительно отбора генотипов по трансгрессивным признакам. Разработана методология создания линий пшеницы с параметрами признака, соответствующими почвенно-климатическим условиям зоны выращивания (31, 32), аналогичным способом получен сорт дайкона Петербургский (http://reestr.gossort.com/reg/cultivar/14807).

На установлении характера взаимодействия компонент в системе генотип—среда вне зависимости от неконтролируемых внешних средовых переменных, стохастически влияющих на проявление изучаемых (прежде всего количественных) признаков, основана тонкая идентификация и локализации QTL в контролируемой среде, что важно как для познания физиологии и генетики растений, так и в практике селекции (25, 33). Селекционеры могут использовать данные QTL-анализа только при воспроизводимости результатов, что и наблюдалось для части выявленных нами QTL (25, 34). Если проявление QTL будет зависеть от условий окружающей среды, то, например, в системе ТЗ (21-23) селекционер сможет скоординировать условия выращивания растений таким образом, чтобы проявились нужные признаки. Экспериментально установлено (25), что такая зависимость QTL проявляется не всегда. В таком случае позиция QTL в группе сцепления сохраняется в течение всех лет и в разных зонах испытания, хотя величина LOD (logarithm of odds) может варьировать. Картирование QTL в условиях агроэкобиоплигона АФИ впервые позволило установить локусы

хромосом, влияющих на проявление изучаемых признаков, прежде всего продуктивности (34). Подобные работы необходимы как на этапе предселекционного исследования генетических детерминант при реализации программ ТЗ (21-23), так и в целом для генетики и селекции (35, 36).

Часто для стабильных QTL характерны невысокие показатели LOD, и вклад таких QTL в изменчивость признаков обычно составляет 10-20 %. Вероятно, именно с ними связано стабильное проявление признаков продуктивности. Напротив, у QTL, определяющих изменчивость в определенных условиях, часто значения LOD высокие. QTL, контролирующие размеры и продуктивность растения, в основном расположены в нескольких группах сцепления. Так, в двух экспериментах в контролируемых условиях агроэкобиополигона (34) с различием только по режиму освещенности (40±0,5 и 50±0,5 Вт/м^2 ФАР) и температуры (день и ночь — соответственно 24-25 °С/19-20 °С и 28-29 °С/23-24 °С) идентифицировали 99 QTL, определяющих 30 различных агрономически значимых признаков. По результатам QTL- и однофакторного дисперсионного анализа установлено, что от изменяемых факторов зависело проявления только 9 из 30 оцененных признаков. Оба использованных метода статистического анализа дали взаимодополняющие результаты. В каждом из статистических подходов применяли критерий максимального правдоподобия, определяли статистическую значимость результатов; достоверность взаимосвязи между идентифицированными QTL и полиморфизмом по тому или иному признаку оценивали на основе порогового значения отношения правдоподобия логарифма шансов (LOD-оценка). С помощью QTL-анализа выявлена блочная структура генома *T. aestivum*, определен процент фенотипической изменчивости, обусловленной каждым из идентифицированных QTL, показано, каким из родителей привнесен тот или иной аллель QTL, а также установлены молекулярные маркеры, генетически сцепленные с выявленными QTL.

Детальное понимание эффектов картированных QTL (с учетом их стабильности в определенной экологической зоне) создают предпосылки для анализа обнаруженных корреляций между проявлением некоторых QTL и свето-температурными режимами и установления взаимодействия QTL—окружающая среда в естественных условиях, чтобы обеспечить реализацию генетических детерминант ценных признаков в конкретных эколого-географических условиях. Кроме того, QTL морфологических и фенологических признаков, впервые идентифицированные в различных почвенно-климатических условиях России у картирующих популяций *T. aestivum* и *B. rapa*, могут использоваться для установления генетической природы количественных признаков у высших растений, выявления механизмов взаимодействия генотип—среда и развития методов маркер-опосредованной селекции (marker-assisted selection — MAS) (25, 33). Примером успешного применения такого подхода могут служить сорта китайской капусты Юна, МЭГГИ, ВИТАВИР (http://reestr.gossort.com/reg/main/516) и репы Палитра (http://reestr.gossort.com/reg/cultivar/21036), полученные с помощью этих технологий, ускоряющих селекционный процесс в 2-3 раза.

Таким образом, выполняемые агрофизические исследования направлены на внедрение физических и математических методов в агрономию, земледелие, растениеводство, управление продуктивностью, в том числе на научное обеспечение точного земледелия как одной из наиболее активно развиваемых сфер АПК. Развитие генетико-селекционных методов расширяет возможности современной агрофизики и прецизионных агротехнологий. Здесь перспективы связывают с ускорением селекционного процесса и получением сортов с разной эколого-географической адаптацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усков И.Б. Агрофизика от А.Ф. Иоффе до наших дней. СПб, 2002.
2. Иоффе А.Ф. Физика и сельское хозяйство. М.-Л., 1955.
3. Мошков Б.С. Фотопериодизм растений. М., 1961.
4. Батыгин Н.Ф., Савин В.Н. Использование ионизирующих излучений в растениеводстве. Л., 1966.
5. Полуэктов Р.А. Информационные технологии в земледелии. Мат. Межд. науч.-практ. конф. «Агрофизика XXI века» (к 70-летию образования Агрофизического института). СПб, 2000: 223-227.
6. Вершинин П.В. Почвенная структура и условия ее формирования. М.-Л., 1958.
7. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почв. М., 1967.
8. Куртенер Д.А., Усков И.Б. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте. Л., 1982.
9. Куртенер Д.А., Усков И.Б. Управление микроклиматом сельскохозяйственных полей. Л., 1988.
10. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение—почва—воздух. Л., 1975.
11. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. Л., 1991.
12. Мошков Б.С., Судаков В.Л., Клочкова М.П., Дроздов В.Н., Фехретдинов А.Ф. Промышленное выращивание томатов при искусственном освещении в Заполярье. Российская сельскохозяйственная наука, 1984, 4: 13-16.
13. Котович И.Н., Масайтис Г.В., Пащенко Т.Е. Полимерные пленки для выращивания и хранения плодов и овощей. М., 1985.
14. Panova G.G., Ktitorova I.N., Skobeleva O.V., Sinjavina N.G., Charykov N.A., Semenov K.N. Impact of polyhydroxy fullerene (fullerol or fullerenol) on growth and biophysical characteristics of barley seedlings in favourable and stressful conditions. Plant Growth Regul., 2016, 79: 309-317 (doi: 10.1007/s10725-015-0135-x).
15. Чудновский А.Ф., Шлимович Б.М. Полупроводниковые приборы в сельском хозяйстве. Л., 1970.
16. Ермаков Е.И., Панова Г.Г. Основы экологически гармоничной биореставрации химически загрязненных почв. Российская сельскохозяйственная наука, 2000, 5: 18-21
17. Ermakov E.I., Panova G.G., Stepanova O.A. Strategy of biological reclamation of chemically polluted ecosystems. Russian Journal of Ecology, 2005, 36(3): 171-178 (doi: 10.1007/s11184-005-0056-4).
18. Полуэктов Р.А. Полевой опыт и моделирование продукционного процесса. Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2002, 2: 25-28.
19. Poluektov R.A., Zakharova E.T. Two approaches to the description of distribution keys in crop simulation models. International Agrophysics (Lublin), 2000, 14: 99-104.
20. Якушев В.П., Осипов А.И., Миннулин Р.М., Воскресенский С.В. К вопросу об известковании кислых почв в России. Агрофизика, 2013, 2(10): 18-22.
21. Якушев В.П. На пути к точному земледелию. СПб, 2002.
22. Якушев В.П., Лекомцев П.В., Петрушин А.Ф. Точное земледелие: опыт применения и потенциал развития. Информация и космос, 2014, 3: 50-56.
23. Якушев В.П., Конев А.В., Якушев В.В. Геоинформационное обеспечение прецизионных экспериментов в земледелии. Информация и космос, 2015, 3: 96-101.
24. Якушев В.П., Лекомцев П.В., Первак Т.С., Воропаев В.В. Анализ экономической эффективности возделывания яровой пшеницы в системе точного земледелия. Агрофизика, 2016, 1: 43-52.
25. Kumar J., Gupta D.S., Gupta S., Dubey S., Gupta P., Kumar S. Quantitative trait loci from identification to exploitation for crop improvement. Plant Cell Rep., 2017: 1-27 (doi: 10.1007/s00299-017-2127-y).
26. Frary A., Nesbitt T., Grandillo S., Knaap E., Cong B., Liu J., Meller J., Elber R., Alpert K.B., Tanksley S.D. *Fw2.2*: a quantitative trait locus key to the evolution of tomato fruit size. Science, 2000, 289: 85-88 (doi: 10.1126/science.289.5476.85).
27. Chesnokov Yu.V., Pochepnya N.V., Kozlenko L.V., Sitnikov M.N., Mitrofanova O.P., Syukov V.V., Kochetkov D.V., Lohwasser U., Börner A. Mapping of QTLs determining the expression of agronomically and economically valuable features in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in environmentally different Russian regions. Russian Journal of Genetics: Applied Research, 2013, 3(3): 209-221 (doi: 10.1134/S2079059713030039).
28. Баталова Г.А., Русакова И.И., Кочерина Н.В., Ловассер У., Бёрнер А., Чесноков Ю.В. Оценка линий ITMI и картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях Северо-Востока Российской Федерации. Киров, 2016.
29. Артемьева А.М., Волкова А.И., Кочерина Н.В., Чесноков Ю.В. Молекулярно-генетическое картирование хромосомных локусов, определяющих устойчивость линий двойных гаплоидов *Brassica rapa* L. к сосудистому бактериозу. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2012, 27: 73-77.

30. Artemyeva A.M., Solovjova A.E., Kocherina N.V., Berensen F.A., Rudneva E.N., Chesnokov Yu.V. Mapping of chromosome loci determined manifestation of morphological and biochemical traits of quality in *Brassica rapa* L. crops. Russian Journal of Plant Physiology, 2016, 63(2): 259-272 (doi: 10.1134/S1021443716020047).
31. Ермаков Е.И., Макарова Г.А., Нерушева Г.В. Программированное получение в регулируемой агроэкосистеме трансгрессивных по сроку колошения линий пшеницы. Методические рекомендации. СПб, 2002.
32. Панова Г.Г., Драгавцев В.А., Канаш Е.В., Архипов М.В., Черноусов И.Н. Научно-технические основы оптимизации продукционного процесса в регулируемой агроэкосистеме. Агрофизика, 2011, 1: 29-37.
33. El-Soda M., Malosetti M., Zwaan B.J., Koornneef M., Aarts M.G. Genotype × environment interaction QTL mapping in plants: lessons from *Arabidopsis*. Trends in Plant Science, 2014, 19(6): 390-398 (doi: 10.1016/j.tplants.2014.01.001).
34. Chesnokov Yu.V., Mirskaya G.V., Kanash E.V., Kocherina N.V., Lohwasser U., Börner A. QTL mapping of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under controlled conditions of an agroecobiological testing ground. Russian Journal of Plant Physiology, 2017, 64(1): 55-68 (doi: 10.1134/S1021443716060029).
35. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Кишинев, 1990.
36. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М., 2008.

ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220 Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14,
e-mail: yuv_chesnokov@agrophys.ru

Поступила в редакцию 28 марта 2017 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2017, V. 52, № 3, pp. 429-436

ACTUAL PHYSICAL, AGRONOMIC, GENETICAL AND BREEDING ASPECTS IN AGROBIOLOGICAL MANAGEMENT
(towards 85 Anniversary of Agrophysical Research Institute, Russia)

I.B. Uskov, V.P. Yakushev, Yu.V. Chesnokov

Agrophysical Research Institute, Federal Agency of Scientific Organizations, 14, Grazhdanskii prosp., St. Petersburg, 195220 Russia, e-mail yuv_chesnokov@agrophys.ru (corresponding author)
ORCID:
Uskov I.B. orcid.org/0000-0003-2990-978x
Chesnokov Yu.V. orcid.org/0000-0002-1134-0292
Yakushev V.P. orcid.org/0000-0002-0013-0484
The authors declare no conflict of interests
Acknowledgements:
Supported in part by grant from Russian Foundation for Basic Research (№ 16-04-00311-a).
Received March 28, 2017
doi: 10.15389/agrobiology.2017.3.429eng

Abstract

This overview dedicated to 85 anniversary of Agrophysical Research Institute gives a retrospective of agrophysics formation as a specific research field covering investigation of physical, agronomical and biological factors to control agroecological systems. The article describes achievement in physics, mathematics, biology and pedology that ensured transition from a descriptive agronomy to the agronomy based on evaluation of the factors essential for plant grow and development, on plant productivity calculation, and on managing productivity of crops by special agrotechnologies. The development of IT communication and precision agricultural technics equipped with detectors of global targeting system, specific sensors and software, as well as the use of geographic information systems led to a new conception of plant yield control, i.e. a precision agriculture. Our researches are focused on computer-aided design and realization of precise agrotechnologies in field conditions. Further progress in plant growing seems to be due to modern genetic and breeding allowing to improve precision agriculture both for populations and individual plants influenced by different ecogeographic conditions. Recent approaches in genetics can speed up breeding new varieties for specific use in precision agriculture. In two experiments which differed only in temperature and illumination regimes under invariability of other parameters, 99 QTL determining 30 agronomically important traits have been identified in spring soft wheat. According to QTL mapping and ANOVA, changes in the temperature and illumination regimes did not influence 21 of 30 studied traits, which remained stable in manifestation. Only nine traits varied under tested conditions, indicating their manifestation to depend on these environmental factors. Elucidation of the QTL effects allows further analysis of the identified correlations and interaction between QTL and environment under natural conditions. In turn, these data allow to provide expression of certain genetic determinants which control physiological basis for economically valuable traits in specific ecogeographic conditions.

Keywords: agrophysics, physics of soil, pedology, precision agriculture, factors of plant growth, physiology and biochemistry of productivity, breeding and genetic analysis.