

УДК 631.527.8:633.11

DOI: 10.25684/NBG.boolt.132.2019.02

РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СЕЛЕКЦИОННОГО ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЕВ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ТЕОРИИ ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

Виктор Александрович Драгавцев

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14
E-mail: dravial@mail.ru

В период 1984 – 2014 гг. наша научная школа (к 2017 г. – 35 кандидатов и 12 докторов наук) развила новую Теорию эколого-генетической организации количественных признаков. Теория базируется на открытии нового эпигенетического феномена – смены спектров продуктов генов под количественным признаком при смене лимитирующего фактора внешней среды. Из Теории вышли 24 приоритетных следствия и 10 ноу-хау, способных устранить «узкие места» традиционных технологий селекции на повышение урожая. В статье описаны экспериментально проверенные на многих с.-х. культурах методы элиминации 16-ти «узких мест» традиционных селекционных технологий повышения урожая и показана перспективность конструирования новых прорывных сортов в Селекционном фитотроне, в котором можно искусственно создавать любые динамики лим-факторов среды для типичных лет любого региона Земли.

Ключевые слова: задачи устранения «узких мест» селекционных технологий повышения урожая; теория эколого-генетической организации количественных признаков

*«Применение биотехнологий, включая генную инженерию, не увеличивает максимальные урожаи. Нужны более фундаментальные научные прорывы, если мы хотим наращивать валовую продукцию растениеводства»
(USDA Agricultural Information Bulletin, 2001.
С.-х. Информационный Бюллетень МСХ США, 2001)*

«Утверждение, что биотехнология ускорит селекцию – голословно» (Е.Д. Богданова, Эпигенетика мягкой пшеницы, Алматы, 2012, С. 92)

В наши дни за сутки на Земле рождаются 250 000 младенцев. К 2030 г. население Земли достигнет 8 млрд человек. Если аграрии всех стран не смогут за это время увеличить объем растениеводческой продукции в мире в 2 раза, то над 2,5 млрд людей нависнет угроза голодной смерти. Сегодня на Земле голодают 1,5 млрд человек. Только за один 2011 г. в странах АТЭС число голодающих выросло на 40 млн человек, а всего к 2012 г. достигло 200 млн (из доклада В.В. Путина на САММИТЕ АТЭС-2012). По данным ФАО за последние 50 лет совокупный объем мирового производства с.-х. продукции вырос в 2,5 – 3,0 раза, а площадь с.-х. территорий Земли – лишь на 12%. Дальнейший рост с.-х. территорий в мире – невозможен (Отчет ФАО за 2014 г., Рим). Сегодня в развитых странах агротехнологии доведены почти до возможного «потолка». Дальнейшее повышение урожая зерновых и зернобобовых в этих странах на 95% зависит от улучшения селекционных технологий, и только на 5% от улучшения агротехнологий. Эксперты ФАО (в Отчете за 2014 г.) подчеркнули: *«Мировой опыт показал, что техногенная интенсификация растениеводства не способна решить проблему дальнейшего повышения урожая, но при этом связана с ростом энергозатрат и нарушением экологического равновесия в природе. Глобальный кризис в с.-х. производстве XXI века требует новой стратегии – биологизации растениеводства, т.е. создания устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды новых сортов, гибридов и видов с.-х. растений».*

При поддержке Гранта РФФИ № 16-04-00199

В соответствии с этой общемировой ситуацией в РФ приняты важные документы:

1) в Решении Президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию РФ от 24.11.2014 подчеркнуто: *«Необходимым условием инновационного развития растениеводства в РФ является использование новых сортов и гибридов с.-х. культур»*;

2) в послании Президента РФ Федеральному собранию от 08.12.2015 указано: *«Совместно с РАН и при участии ФАНО обеспечить разработку ... программы ... по созданию отечественных посевного и племенного фондов»*.

3) в Стратегии национальной безопасности РФ, утвержденной Указом Президента РФ от 31.12.2015, пункт 54, с. 17 отмечено: *«Продовольственная безопасность РФ осуществляется за счет ... развития племенного дела, селекции и семеноводства...»*.

Эти документы полностью соответствуют утверждению: *«Кто обладает продовольствием, тот имеет оружие сильнее атомной бомбы. В мире есть только две реальные силы – сила энергетических ресурсов и сила продовольствия»* (Эрль Батц, министр сельского хозяйства США в администрации президента Форда, 70-е годы XX в.)

Эйфория от достижений генной инженерии растений начинает понемногу угасать. Многие страны сокращают площади под генно-модифицированными (ГМ) растениями. В 2016 г. Аргентина сократила посевы ГМ-растений на 3%, Индия на 7%, Китай на 24%, Уругвай на 7%. В Испании, Судане, Мексике, Колумбии, Вьетнаме, Португалии, Бангладеш, Коста-Рике, Словакии, Чехии площади ГМ-растений (в каждой стране) менее 100 тыс. га и не обнаруживают приращений. Румыния в 2016 г. покинула клуб ГМО-стран. ГМ-картофель, устойчивый к колорадскому жуку, не выращивается сегодня нигде в мире. В большинстве стран Европы и в РФ посевы ГМ-растений запрещены. Все более актуальной становится позиция Дж. Л. Брюбейкера: *«Более половины населения нашей плодородной земли имеет слишком мало пищи, и даже очень глубокое знание гена даёт небольшое утешение голодным людям, пока оно не выражается в калориях»* [1]. Появляются и более резкие оценки: *«Генная инженерия – это единственная «инженерия», которая не знает своих объектов и действует наобум. «Генный инженер» подобен сварщику или резчику, лезущему с переделками в машину, устройство и назначение которой ему неизвестно»* [18, С. 303]. Действительно, внедрение генной инженерии в растениеводство началось безо всякого понимания эколого-генетического «устройства» признаков продуктивности растений и при полном игнорировании эколого-генетических механизмов взаимодействия «генотип-среда», только управление которым (бессознательное или сознательное) и определяет рост продуктивности и урожая новых сортов растений. У современного трансгеноза очень много слабых мест. Во-первых, он может работать только с одним главным геном, затем с другим и т.д., но не может «пересаживать» сложные полигенные системы, управляющие признаками продуктивности, да еще «блуждающие» под признаком при сменах лимитирующих факторов среды. Во-вторых, пересаженный ген может «сесть» в любую хромосому и не только между генами, но и внутри любого гена, что может привести к серьезным нарушениям генома – продукта длительной эволюции. В-третьих, пересаженный ген не подчиняется «замку корреляций» целостного организма (собственные гены индуцируются или «глохнут» в зависимости от фазы развития, чужой ген работает всегда и везде, в любых органах и тканях организма, т.е. он ведет себя так же, как раковая клетка, не подчиняющаяся командам целостного организма). В-четвертых, пересаженный ген не может поднять урожай, поскольку урожай формируется эффектами взаимодействия «генотип-среда», а

не отдельными генами. В-пятых, существующие методы трансформации растений малоэффективны, видо- и сортоспецифичны, приводят к случайному встраиванию чужеродной ДНК в геном реципиента, накладывают ограничения на количество переносимой информации и т.д. Переброс трансгенов из одного сорта в другой требует многократных возвратных скрещиваний и, главное, не является генетически чистой процедурой, поскольку вместе с чужеродной ДНК в процессе случайной рекомбинации происходит перенос различных «кусков» ДНК сорта-донора... Поскольку эффективной процедуры встраивания трансгенов в заранее заданный участок генома не существует, то манипулирование даже несколькими независимыми признаками и их координированный переброс в сотни сортов превращаются в логистический кошмар для селекционных компаний» [23].

5 мая 1966 г. Президиум АН СССР утвердил решение Секции химико-технологических и биологических наук по докладу члена-корреспондента АН СССР Н.П. Дубинина «Практические задачи генетики в сельском хозяйстве». В решении сказано: «Первоочередными проблемами в области генетики растений... являются следующие: а) генетические основы гетерозиса и методы получения высокоурожайных гетерозисных гибридов с.-х. растений, в первую очередь у пшеницы, кукурузы, овощных и технических культур; б) закономерности наследования количественных признаков, определяющих продуктивность с.-х. растений...; в) дальнейшее совершенствование методов отбора в селекции с.-х. растений». «Поручить дальнейшую разработку научных основ новых методов генетической селекции – ИОГен АН СССР, ИЦиГ СО АН СССР, Ин-ту хим. физики АН СССР, Ин-ту генетики и цитологии АН БССР, Ин-ту микробиологии АН СССР, Ин-ту цитологии АН СССР» (Генетика № 8, 1966. – С. 186 – 188).

Однако из всех НИИ, только группой сибирских генетиков (ИЦиГ СО АН) и селекционеров восьми сибирских НИИСХ, в процессе выполнения кооперированной межведомственной программы ДИАС (Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири – на территории от Урала до Забайкалья и от Тюмени до Усть-Каменогорска, 1974 – 1984), [16], была открыта новая система регуляции развития свойств продуктивности – смена спектров продуктов генов, детерминирующих один и тот же признак, при смене лимитирующего фактора внешней среды. На основе этого открытия в период 1984 – 2014 гг. научной школой В.А. Драгавцева (к 2017 г. – 35 кандидатов и 12 докторов наук) была развита приоритетная Теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) с 24-мя оригинальными научными следствиями и 10-ю селекционно мощными ноу-хау [10, 5]. Теория и её элементы включены в Международную энциклопедию “Basic Life Sciences” [26], в Толковый словарь по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологии и биоинформатике (Академкнига-Медкнига, 2008), в Толковый словарь по инновационным вопросам селекции, семеноводства и размножения растений [24], в Краткий словарь терминов по лесной генетике (метод фоновых признаков) [20].

Предоставим читателю самому судить о степени научного прорыва, привнесенного ТЭГОКП в теорию и технологии селекции, ознакомив его с новыми возможностями высоких селекционных технологий, созданных на базе ТЭГОКП.

Проблема 1. Необходимость создания методов надежной идентификации лучших генотипов по продуктивности при индивидуальном отборе в расщепляющихся гибридных поколениях, начиная с F₂ (или в диких популяциях). До ТЭГОКП принципиальная возможность быстрой (без смены поколений) идентификации (узнавания) генетически лучших растений по их фенотипам в расщепляющихся генерациях категорически отрицалась следующими утверждениями. Профессор Н.П.

Кренке [21, С. 167] отмечал: *«Начиная от первых стадий развития не существует константно особого феногенетического выражения для модификаций и наследственных признаков»*. Профессор Н.А. Плохинский [29, С. 5] подчеркивал: *«Для одной особи бессмысленно определять, какая часть её фенотипа обусловлена наследственностью, а какая – условиями жизни. Генетическая информация, полученная одним индивидуумом, реализуется в таком взаимодействии с условиями жизни, при котором обе причины неотделимы друг от друга»*. Профессор У. Уильямс [33, С. 350] утверждал: *«В продуктивности одного организма невозможно разделить генетические и внешние воздействия на признаки со слабой наследуемостью, и отбор в F2 ненадёжен»*. Заведующий лабораторией ИЦиГ СО АН З.С. Никоро и соавторы [27, С. 300] сожалели: *«Для оценки генотипа необходимо знать величину генотипического значения признака, однако, нет способа отделить генотипическое значение от экологического для каждой отдельной особи»*. Академик П.Ф. Рокицкий [31, С. 200] писал: *«Фенотип особей – это единый целостный организм. О генотипе особей непосредственно, без анализа их потомства, судить невозможно»*. Профессор В.К. Савченко [32, С. 19] считал: *«Вычленив непосредственно для каждого организма влияние на развитие признака генотипа и среды – не представляется возможным»*.

Экспериментальная оценка эффективности традиционных визуальных отборов по фенотипам показала, что из 10 000 отобранных растений с лучшими фенотипами (при отборах на фоне легкой засухи) генетически ценным оказалось лишь одно растение, т.е. точность «узнавания» генотипа по его фенотипу составила 0,0001 [22]. В таких ситуациях случайный отбор может быть эффективнее отбора по лучшим фенотипам. Создается впечатление, что постулаты шестерых крупнейших феногенетиков и генетиков – справедливы. Однако, первое следствие ТЭГОКП – принцип фоновых признаков (ПФП) – теоретически и экспериментально отверг эти утверждения [14, 15] и создал методы быстрой (без смены поколений) идентификации генотипического значения любого признака продуктивности у отдельной особи в расщепляющейся популяции с точностью в 1000 раз превышающей точность традиционного визуального «узнавания» генетически ценной особи [3].

Дальнейшее развитие ПФП и открытие 7-и генетико-физиологических систем, де-факто повышающих урожай новых сортов, породили принцип разнонаправленной («ортогональной») идентификации (ПРИ) [17], что позволило, во-первых, быстро (без смены поколений) идентифицировать плюсовые генетические вклады каждой из семи генетико-физиологических систем (ГФС) в продуктивность любой особи, во-вторых, отказаться от традиционных низкоэффективных визуальных отборов по фенотипическим значениям признаков (что делали и делают все селекционеры мира уже в течение многих сотен лет), и, в третьих, использовать величины признаков продуктивности в качестве специальных двумерных координат, в которых все «шумы» (экологический, конкурентный генотипический и конкурентный экологический) сдвигают точку сорта по положительной линии регрессии, а ценный плюсовой сдвиг ГФС, напр. аттракции, – по отрицательной (эффект «ортогональности»). При этом ценный вклад в урожай любой ГФС «очищается» от маскирующих эффектов всех шумов и проявляется (и измеряется) с абсолютной точностью. ПФП и ПРИ при отборах в лесной селекции оценивают в лесных популяциях генотип любого отдельного дерева за 3 – 4 мин, тогда как при оценке по семенному потомству отобранных по фенотипам «плюсовых» деревьев необходимо ждать 10 – 20 лет.

Проблема 2. Необходимость устранения больших ошибок методов визуальных индивидуальных отборов (даже с использованием ПФП и ПРИ) в нетипичные годы для конкретной зоны селекции. Селекционер испытывает в коллекционном питомнике

коллекцию исходных сортов для селекции в своей зоне минимум 3 года, подбирая, по его мнению, лучших родителей. На 4-й год он высевает в питомнике гибридизации этих родителей, скрещивает их и получает семена гибридного поколения F1. На 5-й год он высевает семена F1 в питомнике отборов и производит визуальные отборы лучших фенотипов. Но если год отборов выдался нетипичным для данной зоны селекции, то лучшую продуктивность проявят другие генотипы, которые не дадут в типичные годы максимального урожая. Отобрав их в нетипичный год, селекционер совершит большую ошибку, поскольку в типичный год отобранные генотипы «просядут», а имеющиеся в популяции лучшие генотипы для типичного года – в основном (после отборов в нетипичный год) будут потеряны, поскольку невозможно весь материал всех семей F2 пересевать в F3, F4 и т.д. В итоге 5 лет напряженной работы селекционера часто пропадают впустую [16, С. 111]. Именно отборы в нетипичные годы приводят к тому, что сорт, созданный в одной географической точке, после испытания в системе Госсортосети районирован за сотни (и даже тысячи) км от места его выведения. Так в наши дни в Ленинградской области районирован сорт Красноуфимская 100, созданный на Урале; в Липецкой области возделывали сорта из Одессы; на казахстанской целине и в Западной Сибири высевали Саратовскую 29, созданную в Саратове; сорт Харьковская 46 оккупировал Алтай, но не Харьковщину; шведский сорт Ранг в 70-е годы занимал огромные площади в Тюменской и Омской областях. Это говорит о низкой разрешающей способности методов традиционной полевой селекции. Ситуация в полевой селекции сегодня подобна той, что была в прыжках с шестом: когда спортсмены прыгали в бамбуковыми шестами, мировой рекорд был на уровне 4-х метров. Новые химические технологии создали фибerglassовые шесты, и мировой рекорд сразу поднялся до 6 м. Это узкое место можно убрать, если проводить отборы в F2 и последующих поколениях в Селекционном фитотроне, в котором поворотами рукояток можно легко создавать типичные динамики лим-факторов для любой зоны селекции на Земле.

Проблема 3. Отсутствие технологий селекции на гомеостаз урожая (на повышение «пластичности» сорта) в ряду лет в одной географической точке или в один год в разных точках. До создания ТЭГОКП природа гомеостаза урожая (пластичности сорта) была неизвестна. Селекцию на повышение гомеостаза урожая вели методом проб и ошибок (методом «тыка») с огромными затратами времени и средств. ТЭГОКП расшифровала ранее неизвестный эколого-генетический механизм гомеостаза урожая (пластичности сорта [16, С. 172] и позволила создать приоритетную технологию селекционного повышения пластичности новых сортов [9].

Проблема 4. Отсутствие технологий селекции на повышение засухоустойчивости новых сортов. Ежегодно экономика РФ теряет 7 – 8 млрд. руб. из-за недостаточной засухоустойчивости сортов зерновых и зернобобовых культур. То же самое происходит и в других странах. Так в Австралии в 2003 г. производство пшеницы из-за засухи сократилось с 24 до 9 млн. тонн, или на 62,5%. Традиционные методы селекции – парные, диаллельные и другие схемы скрещиваний и визуальные отборы на фоне засухи – не способны повысить наследственную засухоустойчивость, вклад в которую вносят минимум 22 компонентных признака, каждый из которых детерминируется числом генов от 10 до 9 000 [13]. Созданный в рамках ТЭГОКП приоритетный фенотайпинг позволил создать новую неканоническую высокую технологию наследственного повышения засухоустойчивости в Селекционном фитотроне [13].

Проблема 5. Отсутствие эффективных технологий селекции на повышение холодостойкости и жаростойкости новых сортов. Приоритетный фенотайпинг, вышедший из ТЭГОКП, позволил создать новую инновационную технологию селекции

для наследственного повышения холодо- и жаростойкости новых сортов при селекции в Селекционном фитотроне, последовательно повышая устойчивости для каждой фазы онтогенеза (например, у пшеницы – 12 фаз онтогенеза) [8].

Проблема 6. Отсутствие технологий преодоления нежелательных отрицательных генотипических корреляций между экономически важными свойствами и проблемы прогноза положительных генотипических корреляций между легко наблюдаемым признаком и трудно регистрируемым невидимым признаком. ТЭГОКП впервые выяснила эколого-генетические механизмы сдвигов знаков и величин генотипических корреляций в разных средах и создала методы прогноза их изменений от среды к среде [37].

Проблема 7. Отсутствие знаний о природе трансгрессий, их прогнозов и надежных алгоритмов подбора родительских пар для получения трансгрессий по продуктивности и урожаю. Трансгрессии – главный рычаг повышения урожаев у растений самоопылителей. Во многих учебниках генетики излагается комбинаторно-генетическая гипотеза природы трансгрессий: $AaBb \times aabb = AaBb$ (в случае направленного доминирования генотип $AaBb$ будет превышать по продуктивности лучший родительский сорт). ТЭГОКП отвергла эту гипотезу, не позволяющую селекционеру прогнозировать возникновение трансгрессий в F_2 , расшифровала эколого-генетическую природу трансгрессий, создала методы прогноза трансгрессий и технологии подбора родительских сортов для скрещивания [37], что позволяет сократить ежегодные объемы скрещиваний каждым селекцентром (а их обычно 1000 и более) – до 5 – 10 кроссов. Сейчас в РФ около 40 селекционеров, так что сокращение объемов скрещиваний в 100 и более раз существенно снизит затраты и поднимет эффективность селекции на повышение урожаев.

Проблема 8. Отсутствие знаний о природе гетерозиса у перекрестников и самоопылителей и задача создания новых алгоритмов подбора пар в селекции на гетерозис. ТЭГОКП подтвердила мнение Ю.Н. Иванова: *«Гетерозис – явление, не имеющее под собой генетической теории. Оно скорее физиологическое, чем генетическое. Ни одна красивая генетическая теория гетерозиса не уцелела; ожидания эффекта гетерозиса у гибридов катастрофически лопались, но это замалчивалось»* [18, С. 367]. ТЭГОКП расшифровала эпигенетический (эколого-генетический) механизм экологически зависимого гетерозиса, создала инновационную технологию его прогнозирования и экспериментально доказала возможность получения гетерозисного эффекта по продуктивности у яровой пшеницы – более 100% от лучшего родителя [38, 30]. Это позволяет на базе этого нового знания вернуться к проблеме создания высокоурожайной гибридной пшеницы. (До наших работ максимальный эффект гетерозиса по продуктивности у пшеницы не превышал 10%).

Проблема 9. Отсутствие знаний о природе важнейшего для селекции явления – взаимодействия «генотип-среда» (ВГС). ВГС – это смена рангов продуктивности в наборе сортов, выращиваемых в разных средах (в разные годы в одной географической точке, или в один год в разных точках). В период с 1905 по 1918 гг. К. Пирсон, С. Спирмен и Р. Фишер [28, 40, 39] предложили количественные методы («линейки») для измерения эффектов ВГС – коэффициент ранговой корреляции и двухфакторный дисперсионный анализ, которые с успехом применяются и поныне. Однако природа ВГС была неизвестна до 2010 г., и, что очень интересно, ни одна из ветвей традиционной генетики (менделевская, биометрическая и молекулярная) с 1918 по 2010 г. не выдвинула ни одной гипотезы о природе феномена ВГС. Из ТЭГОКП вышла гипотеза об эколого-генетической природе ВГС, она была экспериментально подтверждена, так что сегодня природа ВГС полностью расшифрована. Это позволяет прогнозировать эффекты ВГС для любых сред, а при интродукции генотипа в новые

условия среды – заранее знать «портрет» данного генотипа (сорта) в новой среде, до его экспериментального переноса в новую среду [7].

Проблема 10. Отсутствие методов точной оценки эколого-генетического потенциала повышения урожая при скрещивании конкретного набора сортов по диаллельной схеме. На основе ТЭГОКП, используя огромный банк данных (программы ДИАС) замеров признаков продуктивности (около 5 млн. значений), созданы инновационные алгоритмы и программы для ЭВМ для количественной оценки возможного наследственного превышения урожая будущего сорта над урожаем лучшего сорта из взятого набора сортов для любых географических точек [16, С.189 – 199].

Проблема 11. Необходимость нового знания всех возможных «рычагов» повышения урожая в процессе селекции. ТЭГОКП показала, что существуют 4 главных рычага повышения урожая новых сортов [4]: 1) типизация динамики лим-факторов среды для каждой зоны селекции, для того чтобы потом воспроизводить типичные динамики типичных лет в Селекционном фитотроне; 2) точная идентификация генотипов при отборах на фоне типичной динамики лим-факторов (существует альтернатива: либо, при селекции в поле, ждать прихода типичного года и не вести отборы в нетипичные годы, утопая в огромных объемах семей второго, третьего и других поколений, либо создавать в Селекционном фитотроне динамики лим-факторов типичных лет для любой географической точки и проводить отборы в фитотроне); 3) «введение» путем скрещиваний в критические фазы онтогенеза конкретного сорта – генетических систем устойчивости к стрессорам («фазовая селекция»). Этот рычаг способен поднять урожай на 20 – 30%; 4) снятие генетических лимитов в суточной динамике физиологических процессов. Так, продление нормальной «работы» физиологических систем на 2 часа в сутки даст за 100 дней вегетации прибавку биомассы, которую дает более позднеспелый (на 9 суток) сорт, т.е. 20 – 30%. Суммарно возможное эколого-генетическое повышение урожая пшеницы яровой в Западной Сибири – 50 – 70%; в Европейской части РФ – 60 – 80%. Взять этот потенциал можно только с помощью Селекционного фитотрона [4].

Проблема 12. Отсутствие технологий быстрой (без смены поколений) оценки генетической (аддитивной) дисперсии признаков продуктивности. Применение в селекционных технологиях ПФП и ПРИ позволяет очень точно оценивать генотипическую дисперсию признаков продуктивности, однако, эта дисперсия имеет сложную природу: в нее входят эффекты межаллельных взаимодействий в локусах (доминирование и сверхдоминирование), эффекты межлокусных взаимодействий (парные эпистазы – комплементарный и дубликатный) и мультилокусные эпистазы. Генетическую (аддитивную) дисперсию порождает изменчивость только аддитивных вкладов генов. Поскольку генетическое улучшение самоопылителей происходит только за счет накопления плюсовых аддитивных генов, то селекционеру необходимо знать не только генотипическую дисперсию, но гораздо более важную для него – генетическую (аддитивную). До появления ТЭГОКП аддитивную дисперсию оценивали либо по корреляции «родитель-потомок», либо по корреляции родственников (сибы и полусибы). Эти оценки требуют смены поколений, т.е. больших затрат времени, и при этом нельзя прогнозировать уровень возможного генетического повышения продуктивности у будущего сорта. ТЭГОКП предложила принцип быстрой оценки (без смены поколений) аддитивной дисперсии по степени «симилярности» реагирования родительских генотипов в экологическом градиенте [6], что позволило делать количественные прогнозы прибавок продуктивности у будущего сорта.

Проблема 13. Отсутствие теории построения оптимальных селекционных индексов для разных динамик лимитирующих факторов в разных зонах селекции. Ю.А.

Филипченко [34, С. 38 – 39] подчеркивал: *«На основании своего опыта я должен предостеречь всех изучающих наследование количественных признаков от пользования индексами – если не совершенно, то в громадном большинстве случаев. Только в очень немногих случаях метод индексов дает нечто большее, чем пользование одними абсолютными величинами... В громадном же большинстве случаев пренебрежение абсолютными величинами при выяснении хода наследования может вызвать только путаницу и ошибки»*. Однако физиологи растений изучают только количественные признаки (генетики еще и качественные), при этом только в виде индексов. Интенсивность фотосинтеза или транспирации в абсолютном значении не имеют никакого смысла (в отличие от «массы колоса» или «числа колосков в колосе»). Физиологи рассчитывают эти интенсивности на клетку, на единицу площади листа, на единицу массы листа (сырой или сухой), на число хлоропластов и т.п. Но отношение двух признаков – это и есть индекс, значит использование индексов в физиологии растений – обычная и повсеместная процедура. Почему же индексы при изучении генетики количественных признаков приводят к «путанице и ошибкам», а индексы тех же количественных, но физиологических, признаков имеют повсеместное распространение, более того, без них вообще невозможно изучать физиологические процессы?

Из ТЭГОКП вышла новая теория селекционных индексов (НТСИ) [19], которая увязала информативность индексов с лим-факторами внешней среды. Так, отбор по «индексу аттракции» – отношению массы колоса к массе соломины главного стебля одного растения – при селекции пшеницы в Северной Индии (на фоне полива, оптимального минерального питания, оптимальной температуры и освещенности) будет отражать генетические различия растений по качеству ГФС аттракции, и отбор по этому индексу даст новый сорт с наилучшими системами аттракции. Но если мы будем вести отборы по этому же индексу в Саратове (на фоне засухи), то у генотипа, имеющего лучшие гены засухоустойчивости, параллельно увеличатся и «масса колоса» и «масса соломины», т.е. «индекс аттракции» останется неизменным. Отбор по этому индексу в Саратове приведет к потере самых ценных засухоустойчивых генотипов. В Саратове надо вести отборы по индексу – «максимальная общая сухая биомасса растения на фоне средней оводненности листьев и стебля». НТСИ показала, что в одной среде конкретный селекционный индекс может давать прекрасные селекционные результаты, а в другой – приводить к потерям наиболее ценных генотипов. НТСИ предложила конкретные индексы для конкретных сред с четким прогнозом успешности селекции на продуктивность и урожай.

Проблема 14. Необходимость удешевления создания новых прорывных сортов. Все селекционные компании мира проводят экологические испытания новых предсортов (в РФ это делает Госкомиссия по сортоиспытанию МСХ РФ). Так компания KWS (ФРГ) имеет 150 испытательных полигонов в 55 разных странах. Предсорт, например, свеклы сахарной, испытывается в каждой географической точке не менее 3 – 4-х лет. Это очень дорого – создание одного нового гибрида свеклы сахарной длится 15 – 16 лет и обходится в 15 – 18 млн. евро. В Селекционном фитотроне можно поворотами рукояток создать типичную динамику лим-факторов для любой географической точки Земли. Объемы испытаний можно резко сократить по времени (4 месяца вместо 3 – 4-х лет) и по объемам (вместо полевых делянок с тысячами растений достаточно 100 растений (для каждой среды) в вегетационных сосудах Селекционного фитотрона с убранными экологическими и конкурентными шумами. Эти испытания не будут зависеть от сезона года и от любых случайных парадоксов погоды. Стоимость экологических испытаний в фитотроне можно уменьшить в разы, тем самым снизить

стоимость создания сорта и существенно увеличить конкурентоспособность сортов РФ на мировых рынках.

Проблема 15. Необходимость новых технологий для упреждающего создания сортов для будущего климата, который сформируется в зоне селекции через 10 – 15 лет. Потепление (как и похолодание) климата на Земле идут не равномерно, а «пятнами». Климатологи создают прогнозы изменений климата для каждого «пятна». Только в селекционном фитотроне можно создать климат, который будет через 10 – 15 лет в данном регионе, и за 5 – 6 лет на фоне этого будущего климата, созданного в фитотроне, сконструировать сорт, идеально подогнанный к будущему климату. Полевая селекция этого сделать не может, т.к. сорт в поле создается 10 – 15 лет. Полевая селекция всегда будет отставать на 10 лет от идеального соответствия созданного в поле сорта изменившемуся климату. Это приводит и будет приводить к большим недоборам валовых урожаев. ТЭГОКП создала фитотронные технологии упреждающего создания идеально приспособленных сортов к будущим климатам в любых точках Земли.

Проблема 16. Необходимость повышения экспортных перспектив новых сортов, создаваемых в Селекционном фитотроне. В Селекционном фитотроне можно создавать типичную динамику лим-факторов для любой точки Земли. Сегодня почти все сорта с.-х. растений, растущие на Земле, выведены в полевых условиях, где очень низкий процент (0,001%) достоверного «узнавания» самых лучших индивидуальных генотипов при визуальных отборах, кроме того, отсутствует «фазовая» селекция (т.е. селекционное улучшение адаптивности каждой фазы онтогенеза), а если год проведения отборов совпадет с нетипичным годом для данной зоны селекции, то предыдущие 5 лет работы селекционера могут просто пропасть. Поэтому все сорта Мира, выведенные в поле, имеют большой резерв повышения продуктивности.

Из ТЭГОКП вышли фитотронные технологии фазовой селекции, быстрые методы идентификации лучших генотипов при отборах (без смены поколений), методы фитотронного управления лим-факторами, «ударяющими» по разным фазам развития, продление суточной физиологической активности растений, которые могут повысить урожай сортов, выращиваемых сегодня в РФ, на 50 – 80%.

По нашему мнению, именно ТЭГОКП с её 24-мя следствиями и 10-ю ноу-хау и является тем самым **«фундаментальным научным прорывом»**, о необходимости которого пишет Сельскохозяйственный Информационный Бюллетень МСХ США (см. эпиграф).

ТЭГОКП – это мощная альтернатива генной инженерии, особенно при решении проблемы повышения продуктивности и урожаев новых сортов растений. В компактной форме ТЭГОКП и следствия из неё представлены в публикациях [5, 35, 12, 25].

Ноу-Хау высоких инновационных технологий эколого-генетического (полевого и фитотронного) улучшения компонентов продуктивности растений, вышедшие из ТЭГОКП:

- 1) типизация динамики лим-факторов среды для каждой зоны селекции и вида растений на основе приоритетных алгоритмов;
- 2) прогнозы возникновения трансгрессий и методы подбора лучших родительских пар на основе расшифрованной природы трансгрессий;
- 3) методы экспрессной оценки аддитивности действия ГФС для создания предсортов и сортов;

- 4) методы прогноза экологически зависимого гетерозиса и подбор родительских пар для гетерозисной селекции;
- 5) методы прогноза эффектов взаимодействия «генотип-среда» с помощью алгоритмов анализа типичной динамики лим-факторов в онтогенезе;
- 6) методы прогноза генотипических, генетических (аддитивных) и экологических корреляций и оптимальные методы отбора на основе этих прогнозов;
- 7) теория и новые принципы построения селекционных индексов (с позиций ТЭГОКП), и новые методы отбора по индексам с учетом типичных динамик лим-факторов среды в разных географических точках;
- 8) методы идентификации генотипов по их фенотипам с помощью принципа фоновых признаков и алгоритмов «ортогональной» идентификации по конечным (результатирующим) признакам и по компонентным признакам на разных фазах онтогенеза;
- 9) методы создания стартовых рабочих коллекций селекционеров для каждой зоны селекции РФ;
- 10) методы создания стержневых коллекций (core-collections) в банках генетических ресурсов растений.

Список литературы

1. Брюбейкер Дж.Л. Сельскохозяйственная генетика. – М.: Колос, 1966. – 223 с.
2. Глазко В.И., Глазко Г.В. Толковый словарь по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологиям и биоинформатике. Т. 2. – М.: Академкнига, Медкнига, 2008. – 530 с.
3. Драгавцев В.А. Генетика количественных признаков растений в решении селекционных задач: Дисс. ... д-ра биол. наук : 03.00.15 / Ин-т общей генетики АН СССР. – М., 1984.
4. Драгавцев В.А. Глобальный кризис растениеводства XXI века требует новых технологий конструирования прорывных по урожаю и качеству сортов растений: презентация 2 июня 2017 г. на Петербургском Международном Экономическом Форуме (30 мин).
5. Драгавцев В.А. Уроки эволюции генетики растений // Биосфера. – 2012. – Т. 4, № 3. – С. 251–262.
6. Драгавцев В.А., Аверьянова А.Ф. О корреляции между уровнем аддитивной вариации и степенью симилярности реакции количественных признаков пшеницы // Генетика. – 1979. – Т. 15, № 3. – С. 518–526.
7. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Ефимова И.Л., Кузнецова А.П., Моренец А.С. К экспериментальному подтверждению новой гипотезы об эколого-генетической природе феномена «взаимодействие генотип-среда» // С.-х. биология. – 2018. – Т. 53, № 1. – С. 151–156.
8. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Ефимова И.Л., Моренец А.С., Савин И.Ю. Управление взаимодействием «генотип-среда» – важнейший рычаг повышения урожаев сельскохозяйственных растений // Труды Кубанского Государственного Аграрного университета. – Краснодар, 2016. – № 2 (59). – С. 105–121.
9. Драгавцев В.А., Кондратенко Е.Я. Генетический анализ гомеостаза количественных признаков продуктивности // Тезисы 3-ей Всесоюзной конференции «Экологическая генетика растений и животных». – Кишинев, 1987. – С. 136.
10. Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н.М., Нечипоренко Н.Н. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 274, № 3. – С. 720–723.

11. Драгавцев В.А., Малецкий С.И. Пути «гены-признаки» неисповедимы // Биосфера. – 2016. – Т. 8, № 2. – С. 143–150.
12. Драгавцев В.А., Малецкий С.И. Эволюция парадигм наследования и развития и их ведущая роль в создании инновационных селекционных технологий // Биосфера. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 155–168.
13. Драгавцев В.А., Михайленко И.М., Проскуряков М.А. Неканонический подход к решению задачи наследственного повышения засухоустойчивости у растений (на примере хлебных злаков) // С.-х. биология. – 2017. – Т. 52, № 3. – С. 487–500.
14. Драгавцев В.А., Острикова В.М. Поиск фоновых признаков для экспрессной оценки генетической изменчивости в растительных популяциях // Генетика. – 1972. – № 8 (4). – С. 33–37.
15. Драгавцев В.А., Погужев И.Б., Соколова Т.А. Количественные оценки генотипических значений признаков растений с учетом распределения экологических отклонений у фенотипов // Модели экосистем и методы определения их параметров. – Новосибирск: Вычислительный центр СО АН, 1981. – С. 190–196.
16. 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. – 230 с.
17. Дьяков А.Б., Драгавцев В.А. Разнонаправленность сдвигов количественного признака индивидуального организма под влиянием генетических и средовых причин в двумерных системах признаковых координат // Эколого-генетический скрининг генофонда и методы конструирования сортов с.-х. растений по урожайности, устойчивости и качеству. – СПб.: ВИР, 1998. – С. 23–40.
18. Иванов Ю.Н. Мысли о науке и жизни. – 4-е изд. – Новосибирск: Свиньин и сыновья, 2011. – 398 с.
19. Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. – СПб.: Дон Боско, 2008. – 87 с.
20. Краткий словарь по лесной генетике. – Красноярск: Наука, 2015. (Метод фоновых признаков).
21. Кренке Н.П. Феногенетическая изменчивость. Т. 1. – М.: Биол. ин-т им. К.А. Тимирязева, 1933–1935. – 860 с.
22. Литун П.П. Разрешающая способность современных схем селекционных отборов // Материалы 4-го Всесоюзного съезда ВОГиС им. Н.И. Вавилова. – Кишинев, 1982. – Т. 2. Генетика растений. – С. 89–91.
23. Лутова Л.А. Современные технологии в биологии растений // Материалы Всероссийской школы молодых ученых по экологической генетике. – Краснодар, 2012. – С. 82–100.
24. Макрушин Н.М., Драгавцев В.А., Плугатарь Ю.В., Малецкий С.И., Малько А.М., Макрушина Е.М., Шабанов Р.Ю. Толковый словарь по инновационным вопросам селекции, семеноводства и размножения растений (русско-английский). – Симферополь: Диайпи, 2017. – 207 с.
25. Малецкий С.И., Драгавцев В.А. Обзорное рассмотрение эпигенетической революции // Политическая концептология. – 2016. – № 1. – С. 249–254.
26. Международная энциклопедия “Basic Life Scienses”. – New York and London: Plenum press. – Vol. 8. – P. 233–240.
27. Никоро З.С., Харитонова З.Н., Решетникова Н.Ф. Различные способы определения племенной ценности животных. – М.: Колос, 1968.
28. Пирсон К. Грамматика науки. – М., 1905.

29. *Плохинский Н.А.* Наследуемость. – Новосибирск: Наука, 1964. – 196 с.
30. *Рахман М. М., Драгавцев В.А.* Новые подходы к прогнозированию гетерозиса у растений // С.-х. биология. – 1990. – № 1. – С. 3–12.
31. *Рокицкий П.Ф.* Введение в статистическую генетику. – Минск: Вышэйшая школа, 1974. – 448 с.
32. *Савченко В.К.* Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях. – Минск: Наука и техника, 1984. – 223 с.
33. *Уильямс У.* Генетические основы и селекция растений. – М.: Колос, 1968. – 448 с.
34. *Филипченко Ю.А.* Генетика мягких пшениц. – 2-е изд. – М.: Наука, 1979. – 311 с.
35. *Якушев В.П., Михайленко И.М., Драгавцев В.А.* Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожаев зерновых культур в России // С.-х. биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 550–560.
36. *Diyakov A.B., Dragavtsev V.A.* Algorithms of an ecology-genetic survey of the genefund and methods of creating the varieties of crop plants for yield, resistance and quality. – St.-Petersburg: VIR, 2002. – P. 22–23.
37. *Dragavtsev V.A.* Ascertaining of about epigenetic nature of transgressions at plants productivity traits // V Міжнародна конференція «Літні наукові читання» (Київ, 31 червня 2017 р.). – Київ: Центр наукових публікацій «Велес», 2017. – Ч. 1. – С. 5–10.
38. *Dragavtsev V.A., Rachman M. M.* Problems of forecasting heterosis in quantitative genetics // Biometrics in Plant Breeding. Proc. 7th Meeting of EUCARPIA. – Norway, 1988. – P. 126–130.
39. *Fisher R.A.* The correlation between relatives on the supposition of mendelian inheritance // Trans. Roy. Soc. – Edinburgh, 1918. – Vol. 52. – P. 399.
40. *Spearman C.* The Proof and Measurement of Association between Two Things // American Journal of Psychology. – 1904. – Vol. 15, no 1. – P. 72–101.

Статья поступила в редакцию 02.07.2019 г.

Dragavtsev V.A. The answers of the breeding yield gain process tasks, that stem from the theory of an ecological - genetic implementation of quantitative traits // Bull. of the State Nikita Botan. Gard. – 2019. – № 132. – P. 17-28.

In the period of 1984-2014 our scientific school (by 2017 – 35 Candidates of Sciences and 12 Doctors of Sciences) evolved a new theory of an ecological - genetic implementation of quantitative traits. The theory is based on the discovery of a new epigenetic phenomenon – change of genes products under a quantitative trait when the limiting factor of the environment changes. It follows by the theory that there are 24 of priority issues and 10 know-how, which can eliminate some “tight spots” of the traditional breeding technologies of a yield gain. The methods of elimination of 16 “tight spots”, that are experimentally well-tried on many agricultural plants, are described in the paper and the perspective of new varieties in Breeding phytotron creation, in which it is quite possible to create any dynamics of limiting factors of the environment for typical years of any region of globe, is demonstrated.

Key words: *problems of elimination of “tight spots” in breeding technologies of yield gain; theory of ecological-genetic implementation of quantitative traits*