

УДК 634.1:631.52

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ «ГЕНОТИП-СРЕДА» КАК ВАЖНЕЙШИЙ РЫЧАГ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И УРОЖАЯ РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СЕЛЕКЦИИ*

Драгавцева И.А., д-р с.-х. наук

Государственное научное учреждение Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства Россельхозакадемии (Краснодар)

Драгавцев В.А., д-р с.-х. наук, академик РАСХН

Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии (Санкт-Петербург)

Реферат. Статья посвящена расшифровке механизмов взаимодействия «генотип-среда» для организации управления продукционными процессами биологических систем многолетних культур. Эффект взаимодействия «генотип-среда» рассматривается с позиции нового эпигенетического механизма – смены продуктов генов, влияющих на признак, при изменении лимитирующего фактора внешней среды.

Ключевые слова: плодовые культуры, селекция, генотип, среда, продуктивность

The summary: Article is devoted to interpretation of «genotype-environment» interaction for the organization of management by productional processes' of biological systems of horticultural plants (in imitation of fruit-trees). The effect of «genotype-environment» interaction is considered from a position of new epigenetic mechanism – the change of genes' products which determine a character at the change of limiting factor of environment.

Key words: fruit cultures, breeding, genotype, environment, productivity

*«Вопрос о среде и взаимодействии организма и среды является одним из важнейших разделов селекции»
(Н.И. Вавилов)*

Введение. В период 1984-2012 гг. группой российских исследователей была создана теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) [1,2] и развиты теоретически и экспериментально 24 следствия из нее [3,4,5,6]. Главное положение теории: при смене лимитирующего рост и развитие растения фактора внешней среды меняются спектр и число генов, детерминирующих один и тот же количественный признак (КП). Показано, что признаки «интенсивность транспирации» и «интенсивность фотосинтеза» в течение суток детерминируются поочередно двумя и тремя разными спектрами генов, соответственно [7].

Главные следствия из ТЭГОКП – расшифрованы механизмы возникновения и созданы методы прогноза для:

- эффектов взаимодействия «генотип-среда» (ВГС),
- трансгрессий,
- экологически зависимого гетерозиса,
- знаков и уровней генотипических и экологических корреляций между КП,
- сдвигов доминирования КП,
- гомеостаза продуктивности и др.

Созданы методы управления амплитудой генотипической изменчивости КП и числом генов, «выходящих» на КП.

* Публикуется в рамках гранта РФФИ № 13-01-96519

Показано, что эколого-генетическая природа сложного, хозяйственно важного КП не может быть описана языками менделевской, биометрической и молекулярной генетики. Только язык ТЭГОКП строго описывает поведение сложных КП в эволюции и селекции [4].

Уровни продуктивности и урожая растений определяются не генами КП, а эффектами ВГС, которые являются эмерджентными (заново возникающими) свойствами высоких уровней организации жизни (онтогенетический, популяционный, фитоценотический) и отсутствуют на молекулярном уровне. ВГС – это смена наборов продуктов генов, влияющих на признак при смене лимитирующего фактора внешней среды [4].

ТЭГОКП описывает самый «верхний этаж» эпигенетических явлений у растений. Эпигенетические феномены на уровне хромосом (миксоплоидия) и на уровне переключений опероноподобных биохимических циклов под действием лим-факторов среды были известны ранее [8, 9].

Сент-Дьерди подчеркивал: «Одним из основных принципов жизни является «организация»; мы понимаем под этим, что при объединении двух вещей рождается нечто новое, качества которого не аддитивны и не могут быть выражены через качества составляющих его компонент» [10]. После работ Сент-Дьерди результаты взаимодействия компонент сложной системы были названы эмерджентными. Именно благодаря им биологи были вынуждены разделить биологию на множество уровней организации (молекулярный, клеточный, тканевый, органный, организменный, популяционный, экологический, ценотический, биогеоценотический, ноосферный). На каждом более высоком уровне возникают новые эмерджентные свойства, которых не было вообще на более низком уровне организации. Например, популяционная генетика изучает эмерджентное свойство популяции – частоту конкретного аллеля в популяции. Это свойство исчезает на уровне классической менделевской генетики (проведение парных скрещиваний).

Феномен ВГС – это смена рангов продуктивности набора сортов в двух (или более) экологических (или географических) точках. Если в одной точке 4 сорта составили ряд по продуктивности (от большей к меньшей) – 1,2,3,4, и в другой точке эта ранжировка сохранилась, то ВГС равно нулю. Если в одной точке ряд по продуктивности был 1,2,3,4, а в другой точке – 3,2,4,1, то ВГС очень существенное. Смену рангов по продуктивности (феномен ВГС) селекционеры знали тысячи лет тому назад, однако методы количественного измерения его появились совсем недавно.

В начале XX века Карл Пирсон предложил «линейку» для количественного измерения ВГС – ранговый коэффициент корреляции [11]. С. Спирмен одновременно с Пирсоном развил и уточнил эту количественную характеристику ВГС [12]. Р. Фишер [13], работая на Ротамстедской опытной станции (Англия) в 1918 г. создал двухфакторный дисперсионный анализ – другую, более точную «линейку» для измерения ВГС. Однако, без знания механизмов ВГС и без методов его прогнозирования, технология селекционной работы (конкурсные, экологические, производственные испытания и сортоиспытания) ничем не отличается от методов древней технологии селекции.

Обсуждение. Сегодня многие государства выделяют огромные средства на геномику и протеомику, но ни в одном НИИ (не только в России, но и за рубежом) пока еще нет ни одной лаборатории, разрабатывающей тему: «Расшифровка механизмов ВГС и создание методов прогноза эффектов ВГС для выведения новых урожайных сортов». Между тем самый мощный вклад в эколого-генетическое повышение урожаяев могут дать только эффекты ВГС.

Если сорт озимой пшеницы Безостая 1 (селекции акад. П.П. Лукьяненко) вырастить под Москвой, то он даст 10 ц/га. На Кубани он легко дает до 100 ц/га, то есть ВГС повышает урожай на 1000%. Традиционные генетические механизмы аналитической и синте-

тической селекции (каждый в отдельности) могут поднять урожай лишь на 5-10%. Шведский сорт яровой пшеницы Ранг, интродуцированный в Тюменскую и Омскую области в 60-е годы, обогнал по урожаю на 30-40% стандартные сорта и был тут же районирован. Эвкалипт из Австралии, привезенный в Уругвай, ускорил свой рост в 2 раза. Таковы эффекты ВГС. За счет ВГС на Сахалине проявляется гигантизм кормовых трав (в Европе они – по колено, на Сахалине скрывают всадника с лошадыю. Как тут не вспомнить замечательного генетика и селекционера Брюбейкера: «Более половины населения нашей плодородной Земли имеет слишком мало пищи, и даже очень глубокое знание гена дает небольшое утешение голодным людям, пока оно не выражается в калориях» [14].

На основе ТЭГОКП в течение последних 20-и лет на разных объектах были изучены эффекты ВГС, установлена их природа и созданы методы прогнозирования. Сейчас стало ясно, что в каждой фазе онтогенеза, например пшеницы, на приращение общей сухой биомассы растения действует строго определенный спектр генов, определяемый их дифференциальной активностью (законы онтогенеза) и лим-фактором внешней среды. Этот лим-фактор тормозит ростовые процессы на данной фазе и «заставляет» работать на преодоление своего тормозящего эффекта строго определенный спектр генов. На следующей фазе (или на той же) при смене лим-фактора среды изменится и спектр генов, преодолевающий «удар» нового лим-фактора.

Спектры генов, «работающие» на каждой фазе онтогенеза, будут разными. Из-за сдвига их работы во времени они не смогут сильно взаимодействовать друг с другом, т.е. будут аддитивны. Фаз онтогенеза достаточно много, так у пшеницы их 12 (по Куперман [12]), у плодовых, если организовать грамотную оптимизацию спектров генов на каждой фазе онтогенеза для преодоления «удара» конкретных лим-факторов, то мы можем получить сумму вкладов 12 аддитивных спектров генов в общую продуктивность сухой биомассы с единицы площади фитоценоза, измеряемую не 5-10 процентами, а несколькими десятками процентов. Если оптимизировать суточную динамику физиологических процессов (напр. на 1 час продлить усвоение азота и фотосинтез в течение суток), то при 100-дневной вегетации накопится 100 часов нормальной физиологической работы растения, то есть тот же урожай будет получен на четверо суток раньше.

Взаимоотношения генетических и эпигенетических механизмов в серии лет по вкладу в эффекты ВГС для многолетних растений (в том числе плодовых) пока мало известны. Малоизвестно и разнообразие реакций элементов продуктивности на тот или иной фактор в конкретную фазу развития в течение года и в серии лет. Нет ясности в понимании четких направлений селекции для разных культур и сортов. Нужен грамотный поиск определения лимитирующих факторов по фазам онтогенеза, летальные пороговые значения, зоны снижения продуктивности, коридоры оптимума экологических факторов, определяющих компоненты урожая плодовых культур.

Выше приведен анализ для плодовых культур основных лимитирующих факторов среды, определяющих продуктивность плодовых культур и величины критических минимальных температур в разряде фаз развития.

Кроме вышеназванных лимитирующих факторов среды необходимо в селекционном процессе владеть также информацией о генетико-физиологических системах аттракции, микрораспределениях пластических веществ, горизонтальном иммунитете, оплате лим-факторов почвенного питания, длине межфазных периодов, не позволяющих «уходить» от «ударов» типичных лим-факторов в конкретной зоне пловодства и в конкретную фазу онтогенеза.

Для примера реакции плодовых культур на лимитирующие температурные факторы среды в течение серии лет приводим наиболее уязвимые моменты взаимодействия гено-тип-среда для культуры яблони (рис. 1), абрикоса (рис. 2) и черешни (рис. 3).

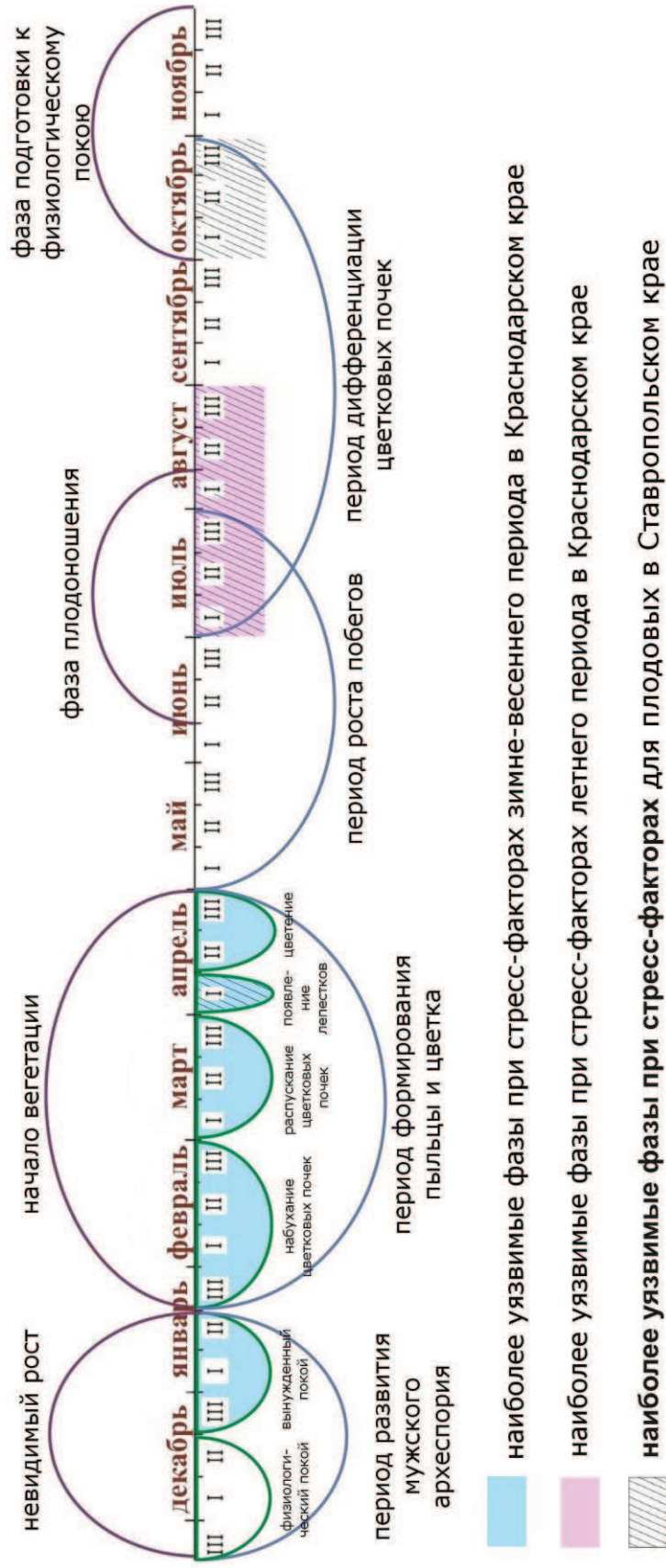


Рис. 1. Годовой биологический цикл, фазы развития и наиболее уязвимые периоды при проявлении стресс-факторов для культуры абрикоса в Краснодарском и Ставропольском краях

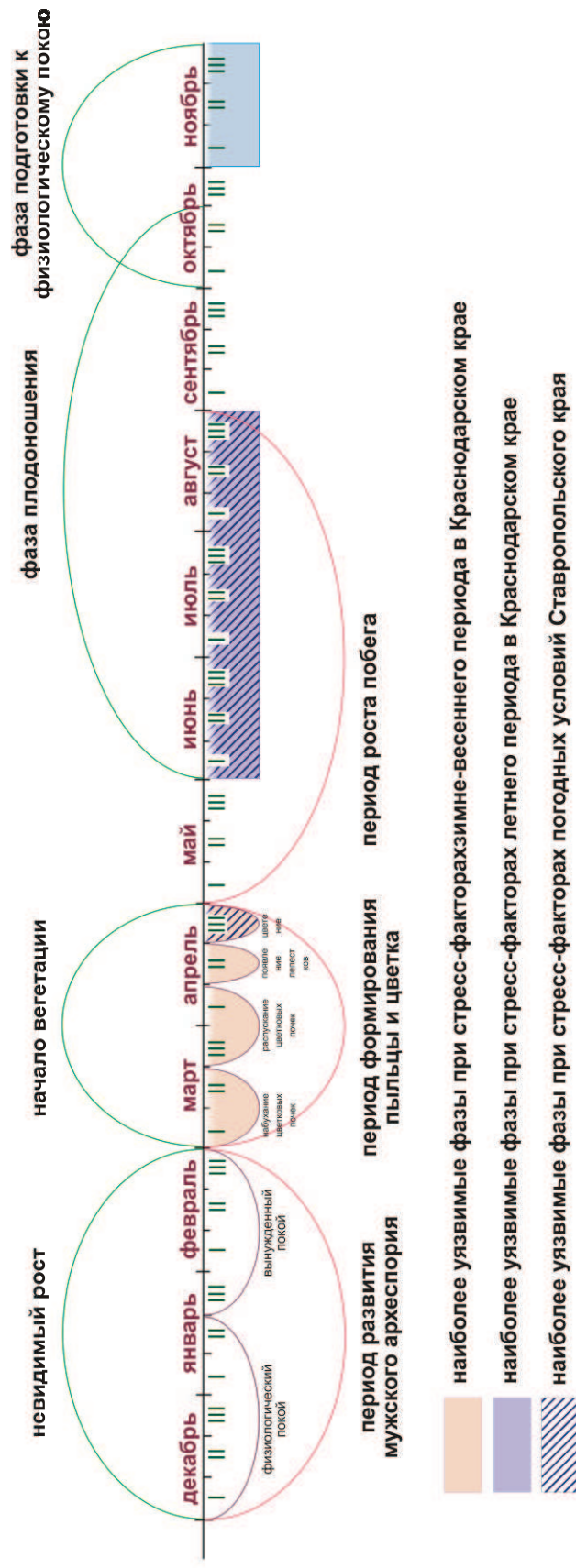


Рис. 2. Годовой биологический цикл, фазы развития и наиболее уязвимые периоды при проявлении стресс-факторов для культуры яблони в Краснодарском и Ставропольском краях

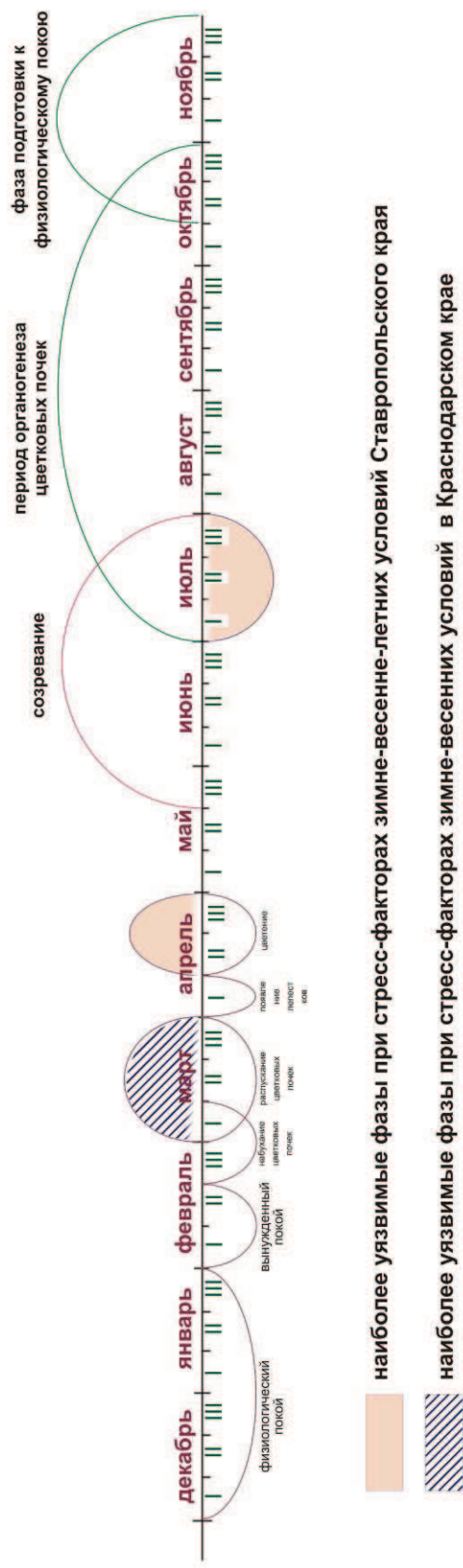


Рис. 3. Годовой биологический цикл, фазы развития и наиболее уязвимые периоды при проявлении стресс-факторов для культуры черешни в Краснодарском и Ставропольском краях

Из них следует, что для каждой из анализируемых культур лим-факторы в условиях Краснодарского и Ставропольского края срабатывают в разные фазы развития. Следовательно, селекционеры должны владеть информацией по вероятности их проявления в разных условиях среды и создавать новые сорта с учетом снятия негативного влияния среды по фазам формирования урожая. Эти знания обеспечат повышение эффективности селекции по системам ВГС.

Феномен ВГС таит в себе существенные резервы повышения продуктивности и урожая растений. Если для каждой культуры будут изучены коридоры оптимумов по фазам развития для каждого существенного лим-фактора среды и если будут оценены типичные динамики лим-факторов среды для каждой зоны выращивания культуры, то сопоставляя типичные динамики лим-факторов с коридорами оптимума по фазам развития каждой культуры можно получить очень важную информацию.

Во-первых, легко найти признаки-индикаторы, «пишущие» на себе начало и длительность воздействия лим-фактора, а также силу воздействия (по степени снижения величины признака-индикатора). Эти индикаторы, видимые невооруженным глазом, дадут важную информацию о природе лим-фактора, «подавившего» тот или иной компонент продуктивности в ту или иную фазу развития.

Во-вторых, можно увидеть отклонения (выходы вверх или вниз) уровня лим-фактора из коридора оптимума, чтобы понять какие гены надо ввести в данный сорт (или какую агротехнологию применить) для снятия отрицательного действия лимита на данный компонент продуктивности, закладывающийся в данную фазу развития. Без осуществления общероссийской инвентаризации и типизации динамик лим-факторов среды и без изучения коридоров оптимума лим-факторов по фазам онтогенеза и в суточной динамике (для важнейших культур) невозможно создать надежную научную программу постоянного повышения урожая сельскохозяйственных растений на аграрных территориях России, применяя оптимальные агро- и генетико-селекционные технологии.

Литература

1. Драгавцев, В.А. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири / В.А. Драгавцев, Р.А. Цильке, Б.Г. Рейтер [и др.]. – Новосибирск: «Наука» СО АН, 1984. – 230 с.
2. Драгавцев, В.А. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений / В.А. Драгавцев, П.П. Литун, Н.М. Шкель [и др.] // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 274. – № 3. – С. 720-723.
3. Драгавцев, В.А. Эколого-генетический скрининг генофонда и методы конструирования сортов с/х растений по урожайности, устойчивости и качеству / В.А. Драгавцев. – СПб: ВИР, 1998. – 52 с.
4. Драгавцев, В.А. Уроки эволюции генетики растений / В.А. Драгавцев // Биосфера. – 2012. – Т. 4. – № 3. – С. 251-262.
5. Теория эколого-генетической организации количественных признаков // Толковый словарь терминов по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, ДНК-технологии в биоинформатике. – М.: Академкнига, Медкнига, 2008. – Т. 2. – 308 с.
6. Чесноков, Ю.В. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и картирование локусов, определяющих агрономически важные признаки у мягкой пшеницы / Ю.В. Чесноков, Н.В. Почепня, А. Бёрнер, У. Ловассер, Э.А. Гончарова, В.А. Драгавцев // Доклады РАН. – 2008. – Т. 418. – № 5. – С. 1-4.
7. Драгавцев, В.А. Новый метод генетического анализа полигенных количественных признаков растений / В.А. Драгавцев // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб. – 2005. – С. 20-35.
8. Драгавцева, И.А. Ресурсный потенциал земель Краснодарского края для возделывания плодовых культур / И.А. Драгавцева, И.Ю. Савин, С.В. Овечкин. – Краснодар. – 2005. – 136 с.
9. Драгавцева, И.А. Анализ ресурсного потенциала земель Ставропольского края для возделывания плодовых культур / И.А. Драгавцева, И.Ю. Савин, С.В. Овечкин [и др.]. – М. – 2007. – 191 с.
10. Драгавцев, В.А. Управление продуктивностью сельскохозяйственных культур на основе закономерностей их генетических и фенотипических изменений при смене лимитов внешней среды / В.А. Драгавцев, И.А. Драгавцева, Л.М. Лопатина. – Краснодар. – 2003. – 208 с.

11. Богданова, Е.Д. Эпигенетическая изменчивость, индуцированная никотиновой кислотой у мягкой пшеницы Е.Д. Богданова // Генетика. – 2003. – Т.39.– № 9. – С. 1221-1227.
12. Durrant, A. Genotrophs in *Linum*. // *Heredity*. – 1962. – V.47. – P. 27-61.
13. Сент-Дьерди, А. Введение в суб-молекулярную биологию. – М.– 1966. – 214 с.
14. Пирсон, К. Грамматика науки. – М.– 1905. – 267 с.
15. Spearman, C. Rank's correlation // *American Journal of Psychology*. – 1904. – V.15, No 88.
16. Fisher, R.A. *Statistical Methods for Research Workers*. – Edinburg: Oliver and Boid, 1925.
17. Брюбейкер, Дж. Л. Сельскохозяйственная генетика.– М.: Колос, 1966. – 242 с.
18. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений / В.Ф. Куперман. – М.: Высшая школа, 1984. – 240 с.