

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И.ВАВИЛОВА» (ВИР)

На правах рукописи

Бемова Виктория Дмитриевна

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

научно-квалификационной работы (диссертации)

**Изменчивость хозяйственно ценных признаков арахиса**

**(*Arachis hypogaea* L.) в связи с экспрессией генов синтеза опинов**

Специальность: 06.01.05 – селекция и семеноводство  
сельскохозяйственных растений

Санкт-Петербург, 2022г.

Работа выполнена в отделе генетических ресурсов масличных и пряжильных культур. Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова».

Заведующий отделом: Брач Н.В., д.б.н., ведущий научный сотрудник,  
куратор коллекции льна

(подпись)

Научный руководитель: Гаврилова В.А. д.б.н., главный научный сотрудник

(подпись)

Рецензенты:

Хатефов Э.Б., д.б.н., ведущий научный сотрудник

(подпись)

Подольная Л.П., к.б.н., ведущий научный сотрудник

(подпись)

## Оглавление

Введение .....	4
Цели и задачи.....	9
Эколого-географические испытания образцов арахиса в двух пунктах .....	10
Описание морфологических признаков арахиса.....	18
Экспрессия гена, контролирующего синтез кукумопинсинтазы ( <i>cus</i> ).....	19
Изучение регенерационной способности арахиса.....	22
Заключение.....	25
Список литературы.....	27
Публикации.....	32

## Введение

Арахис обыкновенный (*Arachis hypogaea* L.), или земляной орех, однолетнее травянистое растение из семейства бобовых (Fabaceae, или Leguminosae). Арахис культурный выращивается примерно в 120 странах мира на общей площади 24,6 млн. га с мировым производством 38,2 млн. тонн. Азия является основным регионом в мире - производителем арахиса. В этом регионе Китай и Индия являются крупными вкладчиками с 15,7 и 5,6 млн т в 2010 году, соответственно. Африка занимает второе место в мире по производству арахиса. В этом регионе, Нигерия (2,6 млн т), Сенегал (1,2 млн т) и Судан (0,7 млн т) являются основными странами-производителями (ФАОСТАТ, 2016). В Африке и Азии арахис обычно выращивают бедные ресурсами фермеры. США и Аргентина являются основными странами-производителями с 1,8 и 0,6 млн т в 2010 году, соответственно. Арахис – это ценная высокомасличная и высокобелковая культура. Семена арахиса содержат 40 — 60% масла и 20 — 37% белка. При промышленном возделывании арахиса используется только подвид обыкновенный подразделяемый на 3 большие группы: кустовую, полукустовую и стелющуюся. Для механизированной уборки используют кустовую группу, это сортоотипы: Испанский, Улучшенный испанский, Валенсия, Яванский, Порто-аллегро, Теннесси белый и красный.

Арахис – теплолюбивое, влаголюбивое и светолюбивое растение, требовательное к плодородию и рыхлости почвы. Для развития арахису необходимы суммы эффективных температур 2600-3500<sup>0</sup>С.

Мировая продукция арахиса главным образом предназначена для масла и продуктов питания. Масло из семян арахиса полувывсыхающее и по качеству приравнивается к оливковому, составляет 44-56% от массы сухих семян и состоит из различных жирных кислот. На накопление жирных кислот влияют условия выращивания, тем не менее, синтез жирных кислот находится под четким генетическим контролем. Арахисовое масло содержит около 80% ненасыщенных жирных кислот и 20% насыщенных жирных

кислот. Ненасыщенные жирные кислоты арахиса представлены олеиновой (42%) и линолевой (37%) кислотами (Wang et al., 2015), кроме того, включают пальмитиновую, стеариновую, арахисовую, бегеновую, лигноцериновую и гадолеву кислоту (Chen et al., 2010).

Селекция арахиса в мире сосредоточена на повышении урожайности, улучшении качества масла и продукции переработки растительного сырья, их безопасности (отсутствие токсинов и аллергенности), а также на устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам. Но важнейшими задачами селекции остаются урожайность, содержание масла и его качество.

Повышенное содержание олеиновой кислоты препятствует окислению масла, масло арахиса с максимумом линолевой кислоты уязвимо к окислению, что приводит к неприятному запаху, вкусу и короткому сроку годности при хранении масла и другого товара арахиса. В целом потребление человеком арахисового масла с высокой долей олеиновой кислоты и низкой долей линолевой кислоты является предпочтительным, так как это снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний за счет снижения уровня липопротеинов низкой плотности в крови.

В настоящее время в России нет промышленных посевов арахиса. Россия входит в число крупнейших стран-покупателей арахиса (Туз и др., 2018). В то же время ряд зон юга РФ соответствует требованиям к возделыванию арахиса (Сев. Кавказ, Южное Поволжье) (Вахрушева, 1998). В XX столетии во ВНИИ масличных культур в Краснодаре и на Кубанской опытной станции ВИР велись работы по созданию сортов арахиса. В 1934 г. в селекционных питомниках ВНИИМК испытывался гибридный материал арахиса. Первые сорта арахиса «ВНИИМК 344», «ВНИИМК 433» и «Испанский улучшенный» получены на основе сортотипов Испанский и Валенсия методом индивидуального отбора. Затем исходный материал начали создавать методом внутривидовой гибридизации. В 2005 г. в Госреестр включен сорт арахиса «Отрадокубанский», созданный сотрудниками ВИР, а в 2021 г. сорт Астраханский 5, автор Асфандиярова

М.Ш., ПАФНЦ. Для большинства образцов коллекции арахиса возможно получение репродукции в Краснодарском крае и в Астраханской области. Существует современный опыт возделывания арахиса в фермерских хозяйствах. (Туз Р.К. и др., 2018)

В России первые попытки возделывания арахиса относятся к 1825 г., когда он был высеян на территории Одесского ботанического сада (Luzina, 1954). В условиях Нижнего Поволжья пробные посевы были проведены в 20-х годах прошлого столетия. В Краснодарском крае первые посевы осуществлены в 1894 г. Далее арахис широко распространился в Закавказье и Среднюю Азию. Позднее (1926–1930 гг.) его с успехом возделывали в засушливых и полусушливых районах юга Украины и России (на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье) (Ivanenko, 1989; Obydalo, Ogarkov, 2002).

С 1926 г. на селекционной станции «Круглик» в Краснодарском крае начали изучать биологию цветения и плодообразования арахиса, что позволило выработать приемы гибридизации. На основе селекционной станции был создан Всесоюзный (затем Всероссийский) институт масличных культур (ВНИИМК), и уже в 1934 г. в селекционных питомниках испытывался гибридный материал арахиса. Первые сорта арахиса ‘ВНИИМК 344’, ‘ВНИИМК 433’ и ‘Испанский улучшенный’ получены на основе сортотипов Испанский и Валенсия методом индивидуального отбора. Затем исходный материал начали создавать методом внутривидовой гибридизации. Сорт ‘Краснодарец 14’ крупноплодный и низколузжистый. Сорт ‘Краснодарец 13’ в условиях Краснодарского края в селекционном севообороте в 1995 г. дал урожай бобов 2,7– 3,3 т/га (без орошения). По данным сотрудников ВНИИМК Д. И. Обыдало и И. А. Огаркова (Obydalo, Ogarkov, 2002), перспективные линии арахиса имели массу 1000 семян 600–900 г, а некоторые с особо крупными семенами достигали 1200 г. В 1940 г. посевы арахиса в стране достигали 23,1 тыс. га. В начале 2000-х годов производство арахиса в России практически прекратилось. В 2005 г. в Госреестр включен сорт арахиса Отрадокубанский, созданный сотрудниками

ВИР, а в 2021 г. в Госреестр включен сорт Астраханский 5, автор Асфандиярова М.Ш., ПАФНЦ. В то же время импорт арахиса в РФ превышает 100 тыс. т ежегодно (Tuz, 2018). В последние годы производство арахисовых бобов в мире возрастает за счет увеличения посевных площадей, использования высокоурожайных сортов и современной агротехники. По данным ФАОСТАТ, в 2017 г. площади посева под арахисом составили 32,6 млн га (<http://www.fao.org/faostat/en/#home>), в то время как в 2010 г. они составляли 24,6 млн га (Rami et al., 2014). Ведущие страны по производству арахиса на 2017 г. – Индия (5,3 млн га), Китай (4,6 млн га) и страны Африки: Нигерия (2,8 млн га), Судан (2,0 млн га), Танзания (1,1 млн га) и др. В экономике Сенегала, Нигерии, Танзании, Мозамбика, Уганды, Нигера и ряда других стран арахис имеет первостепенное значение. На Американском континенте наибольшие площади сосредоточены в Бразилии (154,3 тыс. га), Аргентине (334,05 тыс. га), Мексике (58,565 тыс. га), США (718,57 тыс. га).

Арахис обыкновенный, является аллотетраплоидной формой ( $2n=40$ ), состоящий из геномов А и В (Husted 1933; Strebbsins 1957), с вероятным происхождением путем амфидиплоидизации гибрида АВ (Singh 1988; Singh and Moss 1984). Показано, что подгеномы эволюционировали асимметрично, с подгеномом В, напоминающим состояние предков, и подгеномом А, претерпевающим больше нарушений гена, потерю, конверсию, пролиферацию транспозируемых элементов и снижение экспрессии генов в развитии семян.

В арахисе обнаружены гены синтеза кукумопина и маннопина. Возможно, это влияет на продуктивность растения, опины различного типа могут привлекать в ризосферу определенные микроорганизмы, которые ими питаются. Кроме того, так как ризобии и агробактерии близкородственны, синтез опинов так же может влиять и на них.

Например, известно, что для повышения урожайности используют азофиксирующие бактерии. Установлена способность штаммов клубеньковых бактерий влиять на повышение активности симбиотической

фиксации азота, что повышает урожай сортов и линий арахиса (Phillips et al., 1989; Badawi et al., 2011). Кроме того, способность аккумулировать азот клубеньками позволяет использовать культуру арахиса как сидерат и для оздоровления почвы (Toomsan et al., 1995). Сочетание компоста из арахисовой ботвы с комбинированной инокуляцией биоудобрений (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Phosphobacteria*, *Rhizobium*) приводит к повышению урожайности арахиса (Mathivanan, Jayaraman, 2019). Ризобактерии влияют на регуляторы роста растений, особенно ауксин, гиббереллин и цитокинин, то есть способствуют развитию растений. *Azotobacter* способны вырабатывать фунгицидные соединения, которые борются с болезнями растений, улучшают жизнеспособность и всхожесть и, как следствие, улучшают общий рост растений (Chen, 2006).

В геномах А (*A.duranensis*) и В (*A.ipaensis*) были обнаружены гомологи опиновых генов: ген кукумопин синтазы (*cus*) и ген маннопинсинтазы (*mas2-like*). В геноме А ген *cus* интактный, в В - поврежден. Условно ген *cus* *A.ipaensis* можно разделить на три части. При сравнении интактного и поврежденного генов видно, что в геноме В его части располагаются в неправильном порядке. Первая часть гена находится в конце и отделена последовательностью протяженностью около 50 тыс. пар нуклеотидов, далее должны располагаться 1 и 2 части гена.

## Цели и задачи

Цель работы:

Провести эколого-географические испытания коллекционных образцов арахиса с целью выявления нового исходного материала для селекции.

Задачи:

1. Провести эколого-географические испытания проявления хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов арахиса в двух пунктах, различающихся по почвенно-климатическим условиям (полупустынная и степная)
2. Провести описание образцов по морфологическим признакам
3. Идентифицировать гены синтеза опинов в коллекционных образцах арахиса
4. Исследовать корреляцию экспрессии генов синтеза опинов с проявлением хозяйственно ценных признаков
5. Освоить методы получения регенерантов арахиса

## **Эколого-географические испытания образцов арахиса в двух пунктах**

Для исследования хозяйственно ценных признаков проведено эколого-географическое испытание в двух пунктах, различающихся по климатическим и почвенным условиям. На Кубанской опытной станции - филиале ВИР (КОС ВИР), которая расположена в зоне степей, почва - чернозем. Арахис выращивается без полива. И в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре Российской академии наук (ПАФНЦ РАН), находящимся в зоне полупустынь, почвы элювиальные (пойма реки Волга), разной степени солонцеватости. Арахис выращивается при поливе.

Для проведения эколого-географических испытаний было отобрано 63 образца коллекции ВИР, различающихся по географическому происхождению, сортотипам, морфологическим признакам бобов и семян и хозяйственно-ценным признакам. Так же во время проведения опыта производилась оценка погодных условий на КОС ВИР и ПАФНЦ РАН для оценки влияния этих условий на хозяйственно-ценные признаки арахиса.

Посев осуществляется лущеными семенами по 2 семени в лунку во влажную почву на глубине 5 см. При появлении полных всходов для изучения в лунке оставляется по 1 растению, для восстановления всхожести или размножения - по 2 растения. Площадь питания растений 0,7x15 см. Проводится рыхление, окучивание и прополка. Уборка осуществляется в солнечную, сухую погоду, до наступления дождей и первых осенних заморозков.

Определение массы 1000 семян у арахиса, проводится после высушивания урожая при естественной влажности путем взятия 2-х навесок по 100 семян из средней пробы. Взвешивается и определяется средний вес 100 семян с последующим пересчетом на 1000 семян. Взвешивается весь урожай с делянки и высчитывается продуктивность одного растения. За стандарт при изучении коллекции принят сорт Отрадокубанский (к-1987).

Проведена оценка по хозяйственно-ценным признакам за 2019-2021 года для образцов арахиса в ПАФНЦ и на Кубанской опытной станции: продолжительность периода посев-всходы и всходы-цветение, вызреваемость, продуктивность, масса 1000 бобов и 1000 семян, лужистость, урожайность, коэффициент адаптации.

Продолжительность периода всходы-цветение за 2019г. больше в ПАФНЦ. Однако есть образцы (кк-3, 175, 180, 300, 317, 793, 868, 903, 1027, 1547, 2067), у которых продолжительность периода больше на Кубанской опытной станции или не отличается. Вызреваемость в ПАФНЦ высокая, что, вероятно, обусловлено дополнительным поливом и более подходящими климатическими условиями. На Кубанской опытной станции вызреваемость средняя и низкая, не превышает 77%. Наиболее высокую вызреваемость в ПАФНЦ (более 90%) можно отметить у образцов под номерами кк-64, 126, 163, 175, 179, 180, 300, 317, 433, 597, 695, 698, 720, 793, 868, 869, 939, 1027, 1533, 1942, 2055, 2058, 2065 и 2067 (всего 24 образца из 60). Высокая вызреваемость на КОС ВИР (более 70%) отмечена у образцов кк-179, 300, 596, 597, 903, 939, 1001, 2047 (всего 7 образцов). Коэффициент вариации этого признака в целом ниже у образцов, выращенных в ПАФНЦ, это говорит о том, что все растения одного образца имеют стабильную и примерно одинаковую вызреваемость.

Образец к-64 (Katjang tanah, Ява) отличается очень высокой вызреваемостью (99%) в ПАФН РАН и хорошей урожайностью (3,6 т/га). Образец к-1547 (57-107 сортотип Порто-Алегро, Мадагаскар) так же имеет высокую вызреваемость в ПАФН (88%) урожайность 4,3 т/га. Можно выделить образец к-2047 (№19984, ВНИИИМК), который проявляет хорошую вызреваемость в обоих пунктах ПАФНЦ– 88%, КОС ВИР – 71%, имеет самую высокую продуктивность с одного растения (45г) и наиболее высокую урожайность (4,3 т/га). Наибольшая масса 1000 семян у образца к-698 (800г), однако урожайность всего 3,1т/га, т.к, продуктивность с одного растения средняя (32,3г).

Оценить некоторые хозяйственно-ценные признаки 22 образцов в двух точках за 2020г. не представляется возможным, так как в связи с неблагоприятными условиями не удалось вырастить их на КОС ВИР. Число дней от посева до всходов за 2020г. у всех образцов больше на КОС ВИР, что вероятно связано с погодными условиями. Продолжительность периода всходы-цветение примерно одинаковая у всех образцов; у кк-3, 41, 46, 51, 53, 126, 154, 168, 698, 1027, 1533, 1697, 1942 продолжительность этого периода в двух точках отличается примерно на 9-10 и более дней. В целом, вызреваемость выше на ПАФНЦ РАН: из 62 38 имеют вызреваемость более 90%, а 23 образца демонстрируют вызреваемость более 80%, только один образец (к-54) имеет более низкий показатель – 47.5%. Вызреваемость всех образцов на КОС ВИР, кроме к-51 и к-74, существенно ниже, чем в ПАФНЦ. Из 40 образцов вызреваемость ниже 50% только у двух: к-3 и к-1143, у семи образцов вызреваемость больше 80%; у к-626 вызреваемость около 90%. Показатель вызреваемости остальных 30 образцов находится в пределах 50-80%. Показатель продуктивности так же более высокий на ПАФНЦ у большинства образцов, кроме кк-51, 154, 1942, 2065 и 2066. Почти одинаковую продуктивность в обеих пунктах показали к-698 и к-720. Коэффициент вариации вызреваемости ниже у образцов, выращенных в ПАФНЦ (у большинства меньше 10), это говорит о том, что все растения одного образца имеют стабильную и примерно одинаковую вызреваемость.

В 2021г. продолжительность периода посев-всходы примерно одинаковая в обеих точках; продолжительность этого периода длиннее в ПАФНЦ более чем на 10 дней у кк-154, 168, 720, 747, 1905, 2065 и 2066. Продолжительность периода всходы-цветение у большинства образцов на ПАФНЦ РАН существенно длиннее в 2021 году, чем на КОС ВИР, разница варьирует от незначительной 1-4 дня, до 26 дней. Вызреваемость всех образцов, кроме к-597 в ПАФНЦ РАН выше, чем на КОС ВИР. Ниже 70% вызреваемость только у образцов кк-597, 1905; у 14 образцов вызреваемость более 90%; у остальных этот показатель варьирует в пределах 70-90%. На

КОС ВИР вызреваемость 80% отмечена только у образца к-3 – это самый высокий результат. Еще 6 образцов демонстрируют результат более 50%, у остальных вызреваемость ниже; самые низкие результаты у кк-24, 178, 695 – менее 20%. Коэффициент вариации вызреваемости на КОС ВИР у многих образцов очень высокий (достигает 98), что говорит о большой разнице в процентах вызреваемости даже на одной делянке в пределах одного образца. Продуктивность за 2021 год выше в основном на КОС ВИР, что предположительно связано с большей влажностью бобов и, соответственно, с большим их весом.

Отобраны образцы, выделившиеся по вызреваемости в двух точках за каждый год изучения. Так же были выделены образцы, показавшие высокую вызреваемость в течении трех лет исследований в обоих пунктах проведения опыта.

Были отобраны образцы, показавшие наибольшую продуктивность в двух пунктах исследования за каждый год. 2020 год оказался очень неблагоприятным для выращивания арахиса и продуктивность у всех образцов в обеих точках была низкая. Поэтому в качестве лучших удалось отобрать всего 4 образца: кк-51, 698, 868 и 2066.

Удалось выделить образцы, показавшие высокую продуктивность в каждой из точек в течении трех лет. Вероятно, в связи с различиями в условиях выращивания на ПАФНЦ РАН и КОС ВИР было отобрано малое количество образцов с высокой продуктивностью в обоих пунктах за каждый год. Однако, удалось отобрать образцы с высокой продуктивностью в течении трех лет для каждой из двух точек в отдельность,

В ходе работы так же были отобраны перспективные образцы арахиса для создания сортов по заказу холдинга «Объединенные кондитеры». Были отобраны крупносемянные (таблица 1) и мелкосемянные образцы (таблица 2).

Таблица 1. Крупносемянные образцы, отобранные для создания сорта.

№ п/п	№ каталога	Название	Происхождение
1	698	Sel.C.R.A.Issue de Куба	Марокко
2	2047	№20031	ВНИИМК
3	2064	Bai Yuan Hua 2	Китай

Все образцы характеризуются очень крупным размером семян (около 1,5 см в длину). К-698 отмечен как один из наиболее высокопродуктивных в двух точках исследования за 2019 и 2020 годы; так же был отмечен как один из лучших по вызреваемости в 2021г. Была произведена оценка жирнокислотного состава данного образца: содержание линолевой кислоты в пределах 28-42%, содержание олеиновой кислоты 39-46% в зависимости от условий выращивания. Образцы к-2047 и к-2064 отличились очень высокой продуктивностью в 2021 году. Образец к-2047 показал высокую вызреваемость в 2019г. Так же в течении всех трех лет исследования выбранные образцы показывали хорошие результаты по вызреваемости, продуктивности и массе 1000 семян и 1000 бобов. Формы отобранных образцов кустовые, что удобно для промышленного выращивания и сбора урожая.

Таблица 2. Мелкосемянные образцы, отобранные для создания сорта.

№ п/п	№ каталога	Название	Происхождение
1	596	Negrotipo 2 Parc.223	Судан
2	597	Early Spanish 0833	Канада

Характеризуются очень малым размером семян (около 5-7мм в длину). Образец к-596 обладает черно-фиолетовым цветом семенной кожуры, один из лучших по вызреваемости за 2019г. И, не смотря на небольшой размер массу 1000 семян, вошел в число лучших по продуктивности на КОС ВИР в 2019г., на ПАФНЦ РАН в 2020г. Образец был оценен по жирнокислотному составу, согласно данным биохимического анализа содержание линолевой кислоты варьирует в пределах 30-37%, а содержание олеиновой – 43-46%.

Образец к-597 отмечен как один из лучших по вызреваемости в двух точках исследования за 2019 и 2020 годы. Показал высокую продуктивность на КОС ВИР в 2019г. (42,2г с растения) и ПАФНЦ РАН в 2020г. (38,7г с растения). Окраска семенной кожуры свето-розовая. Оценка жирнокислотного состава показала содержание линолевой кислоты в пределах 31-42% и содержание олеиновой кислоты 40-45%. Можно сказать, что жирнокислотный состав образцов оптимален. Формы обоих образцов кустовые. Показатели хозяйственно-ценных признаков образцов за три года исследований хорошие.

Так же проведен анализ жирно-кислотного состава масла 16 образцов выращенных в КОС ВИР и ПАФНЦ в 2020г. Исследование проводилось в биохимии ВИР.

Как характерно для арахиса в целом, преобладающими кислотами в данных образцах являются линолевая и олеиновая. Различие заключается в том, что в одних образцах преобладает линолевая (кк - 168, 416), в других олеиновая кислоты (кк – 555, 626, 751, 939, 1157, 1252, 1905, 2064). Образцы с большим содержанием олеиновой кислоты предпочтительнее для пищевого использования. Идеальным оказывается образец к-555 - 53,25 % олеиновой кислоты и 27,43 % линолевой. Масло арахиса с высоким содержанием линолевой кислоты уязвимо к окислению, приводит к короткому сроку годности при хранении масла и другого товара арахиса. Кроме олеиновой и линолевой кислот, от 8,23 до 11,32 % в образцах содержится пальмитиновой кислоты, 1,85-3,8 % - стеариновой, 2,11-4,40 % бегеновой и менее 3% - арахидиновой, лигноцериновой, линоленовой, эйкозеновой, и менее 1% - миристиновой, пальмитолеиновой. Так же в малом количестве были обнаружены маргариновая, лауриновая, вакценовая, эйкозодиеновая, докозодиеновая, нервоновая, церотиновая и монтановая кислоты.

Содержание олеиновой и линолевой кислоты у разных образцов варьирует, в зависимости от места репродукции. Уровень олеиновой кислоты выше у образцов, выращенных на КОС ВИР, а линолевой – на ПАФНЦ РАН.

Предположительно повышенный синтез линолевой кислоты связан с более низкими температурами на ПАФНЦ РАН в мае, июне и июле.

Для проверки влияния места репродукции на вызреваемость образцов был проведен дисперсионный анализ по данным полученным в двух точках изучения (ПАФНЦ РАН и КОС ВИР) за 2019, 2020 и 2021 годы для всех образцов арахиса.

Исходя из данных анализа. процент вызреваемости образцов арахиса, выращенных в двух разных точках изучения (ПАФНЦ РАН и КОС ВИР) существенно отличается. Согласно данным, полученным с помощью дисперсионного анализа за три года наибольшее влияние на вызреваемость оказывает место репродукции и, соответственно разные условия выращивания, в значительно меньшей степени на этот признак влияют год изучения и генотип образцов. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3. Дисперсионный анализ доли влияния генотипа образца, места и года репродукции на вызреваемость за 3 года исследования.

Фактор	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния
Место	1	89463	89463	747,73	0,000000	44
Год	2	7477	3738	31,24	0,000000	4
Генотип	22	9763	444	3,71	0,000000	5
Место*год	2	88	44	0,37	0,692715	0
Место*генотип	22	9948	452	3,78	0,000000	5
Год*генотип	44	7686	175	1,46	0,031197	4
Место*год*генотип	44	12309	280	2,34	0,000006	6
Ошибка	552	66045	120			33

Примечание. SS – сумма квадратов, df – степени свободы, MS – средний квадрат, F – эмпирический критерий Фишера, p – вероятность  $H_0$

Если сравнить с помощью дисперсионного анализа данные за два года (2019 и 2021), которые отличились более благоприятными условиями для выращивания арахиса и сходными погодными показателями, то наибольшее влияние на вызреваемость снова оказывает место репродукции, год не влияет совсем, а генотип растений оказывает более существенное влияние. Результаты анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4. Дисперсионный анализ доли влияния генотипа образца, места и года репродукции на вызреваемость за 2 года (2019, 2021гг.).

Фактор	Df	SS	MS	F	p	Доля
Место	1	125679	125679	951,81	0,000000	43
Год	1	44	44	0,33	0,564512	0
Генотип	38	23575	620	4,70	0,000000	8
Место*год	1	12	12	0,09	0,762561	0
Место*генотип	38	35808	942	7,14	0,000000	12
Год*генотип	38	13654	359	2,72	0,000000	5
Место*год*генотип	38	13630	359	2,72	0,000000	5
Ошибка	624	82394	132			28

Примечание. SS – сумма квадратов, Df – степени свободы, MS – средний квадрат, F – эмпирический критерий Фишера, p – вероятность  $H_0$

## Описание морфологических признаков арахиса

Оценка морфологических и хозяйственно-ценных признаков проводилась согласно «Классификатору вида *Arachis hypogaea* L.» (ВИР, Л-д, 1985) и методическим указаниям «Изучение коллекции арахиса (*Arachis hypogaea* L.)» (СПб, 1995).

Описаны морфологические признаки: высота растения, степень выраженности стебля, величина междоузлий, степень опушения стебля, наличие антоциановой окраски, величина листьев, форма листьев, окраска листа, длина черешка, форма прилистников, величина цветка, форма чашечки, размер чашечки, окраска чашечки, опушение чашечки в соответствии с классификатором. (Вахрушева, Иваненко, 1985). А также описаны морфологические признаки бобов и семян по следующим характеристикам: величина, окраска и форма боба, характер поверхности, наличие перехвата, расположение семян в бобе, степень выраженности кия; форма, величина семени, окраска оболочки семени, число семян в бобе. Некоторые морфологические признаки слабовариабельны: величина цветка, форма, размер и окраска чашечки практически не отличаются у разных образцов.

## Экспрессия гена, контролирующего синтез кукумопинсинтазы (*cus*)

В молекулярно-генетических исследованиях использованы девять образцов арахиса (*A. hypogaea*) коллекции ВИР.

Выделение РНК осуществлялось с помощью набора Total RNA Purification Plus Kit. ПЦР- Real-time проводили в объеме 20 мкл. В состав смеси входили: SsoAdvanced™ Universal SYBR® Green Supermix (10 мкл), прямой праймер 10 пикоМоль, обратный праймер 10 пикоМоль, кДНК (1 мкл). Амплификация включала начальную денатурацию при 94°C (5 мин.), за которой следовали 40 циклов, включающих денатурацию при 94°C (30 сек), отжиг праймеров при 55°C (40 сек) и элонгацию при 72°C (1 мин), и затем финальную элонгацию при 72°C (5 мин). Обратную транскрипцию проводили в объеме 10 мкл. В состав смеси входили: 5x iScript™ Reverse Transcription Supermix (2 мкл), прямой праймер 10 пикоМоль, обратный праймер 10 пикоМоль, РНК (1 мкл).

Полученные ПЦР-продукты визуализировали методом горизонтального электрофореза в агарозном геле (1%), его состав: 1 г агарозы (LE 2, Helicon), 100 мл 1X буфера TAE, 5-10 мкл раствора бромистого этидия (0,1%). Использовали маркер молекулярного веса 100 bp+ DNA Ladder NL 002, Evrogen. Параметры электрофореза: 120 В, 80 Вт, 30 минут с использованием источника тока.

Была исследована экспрессия гена кукумопинсинтазы (*cus*) различных органах 9 линий культурного арахиса из коллекции ВИР, имеющих разное географическое происхождение и отличающиеся по морфологическим признакам. Оценка проводилась по трем растениям каждого образца, в корнях, листьях и стебле. Результаты представлены на рисунках 1- 3.

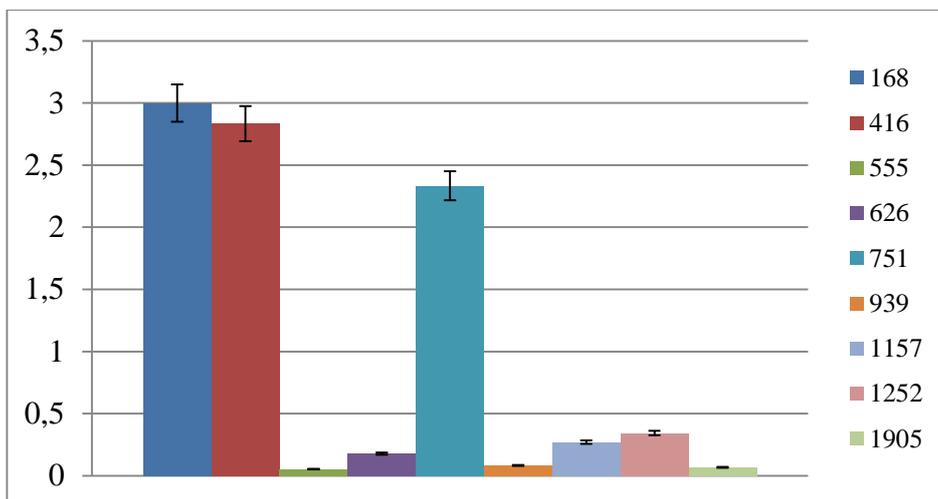


Рисунок 1. Уровень экспрессии гена кукумопинсинтазы (*cus*) в корнях.

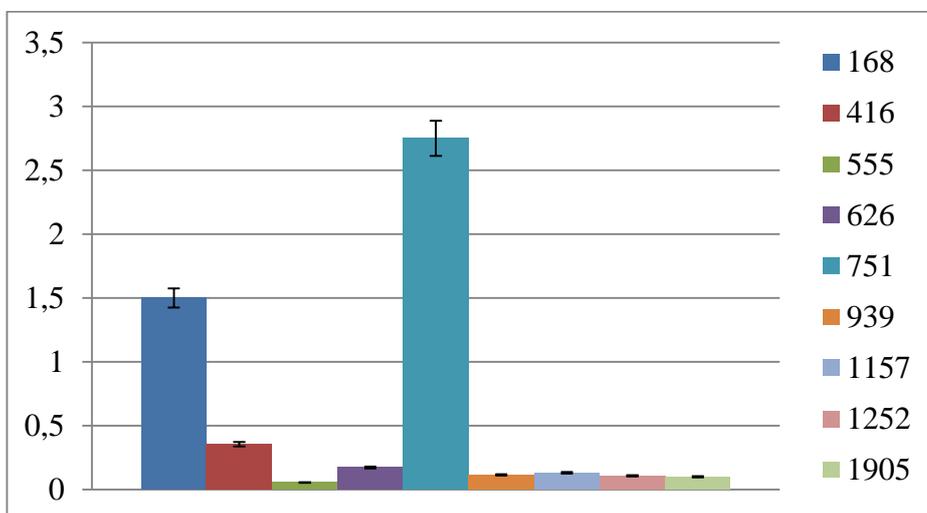


Рисунок 2. Уровень экспрессии гена кукумопинсинтазы (*cus*) в листьях.

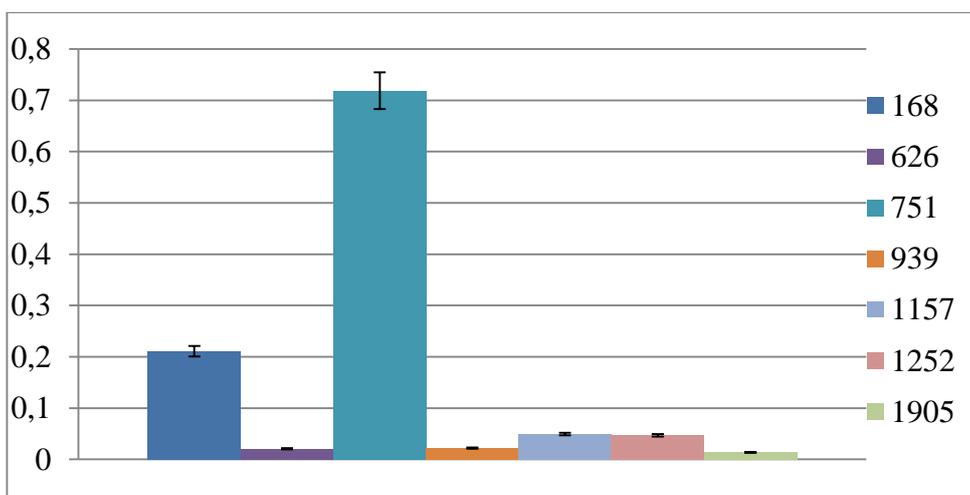


Рисунок 3. Уровень экспрессии гена кукумопинсинтазы (*cus*) в стебле.

В ходе работы выявлена тканеспецифичная экспрессия гена *cis* в образцах арахиса и обнаружены линии контрастные по уровню его экспрессии. Наиболее высокая экспрессия отмечена в корнях, что позволяет предположить, что ген *cis* через синтез опинов может иметь отношение к взаимодействию клубеньковыми бактериями и влиять на продуктивность арахиса.

Высокая экспрессия отмечается в корнях образцов кк-168, 416 и 751. Так же у образца 168 отмечается повышенная экспрессия в корнях и листьях; у образца 751 уровень экспрессии в листьях и стебле наиболее высокий, в сравнении с другими. У образцов кк-555, 626, 939, 1157, 1252, 1905 экспрессия гена *cis* незначительная во всех органах.

Исследована экспрессия гена *cis* в корнях двух образцов разных этапах вегетационного периода. Образец к-168 ранее показывал высокий уровень экспрессия гена *cis*, а к-1157 – низкий. Образцы корней для анализа брали через 3 недели после прорастания семян (22 июля) и во время цветения (13 сентября). Результаты представлены на рисунке 4.

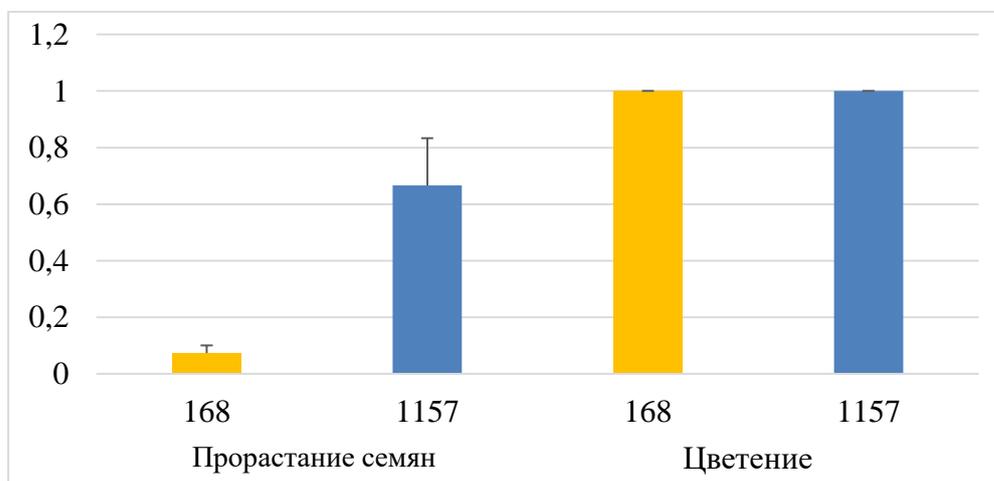


Рисунок 4. Уровень экспрессии гена кукумопинсинтазы (*cis*) в разные периоды.

Оба образца показывают более низкий уровень экспрессии через 3 недели после прорастания семян, во время цветения уровень экспрессии всех образцов повышен.

## Изучение регенерационной способности арахиса

Бобы арахиса дезинфицировали в течении 10 минут в перекиси водорода 37%, после чего производили удаление кожуры и извлечение семян. Далее, семена опускали в 37% перекись водорода на 3 – 5 минуты, затем – в автоклавированную воду на 10 минут.

Обработанные таким образом семена с помощью скальпеля разделяли на семядоли и вычленили зародыш (рисунок 9) Каждый зародыш помещали в чашку Петри на среду Мурасиге-Скуга, содержащей гормон 2,4 Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) в концентрации 2 г на л.

Чашки Петри с высаженными зародышами содержали при температуре +24°C и круглосуточном освещении. Через 20 дней был поведен отбор эмбрионов с лучшим калусообразованием, которые затем были перенесены на питательную среду без гормона.

Измерения размеров каллусов проводили сразу после посадки на среду. В последующем велись наблюдения за ростом каллуса у зародышей и фиксирование этого процесса на фото каждые 10 дней до получения регенерантов.

Так как в ходе работы удалось выяснить, что гены *cis* экспрессируются в арахисе, необходимо дальнейшее изучение их влияние на растения, клубеньковые и почвенные бактерии, а также их возможных функций, необходима трансформация растений. Для дальнейшей работы по трансформации арахиса и выращивания трансформированных растений для изучения функций гена *cis* была проведена оценка регенерационной способности некоторых образцов арахиса, список представлен в таблице 3. Работа необходима для оценки способности калусообразования и отбора перспективных для трансформации образцов. Результаты представлены на рисунке 5.

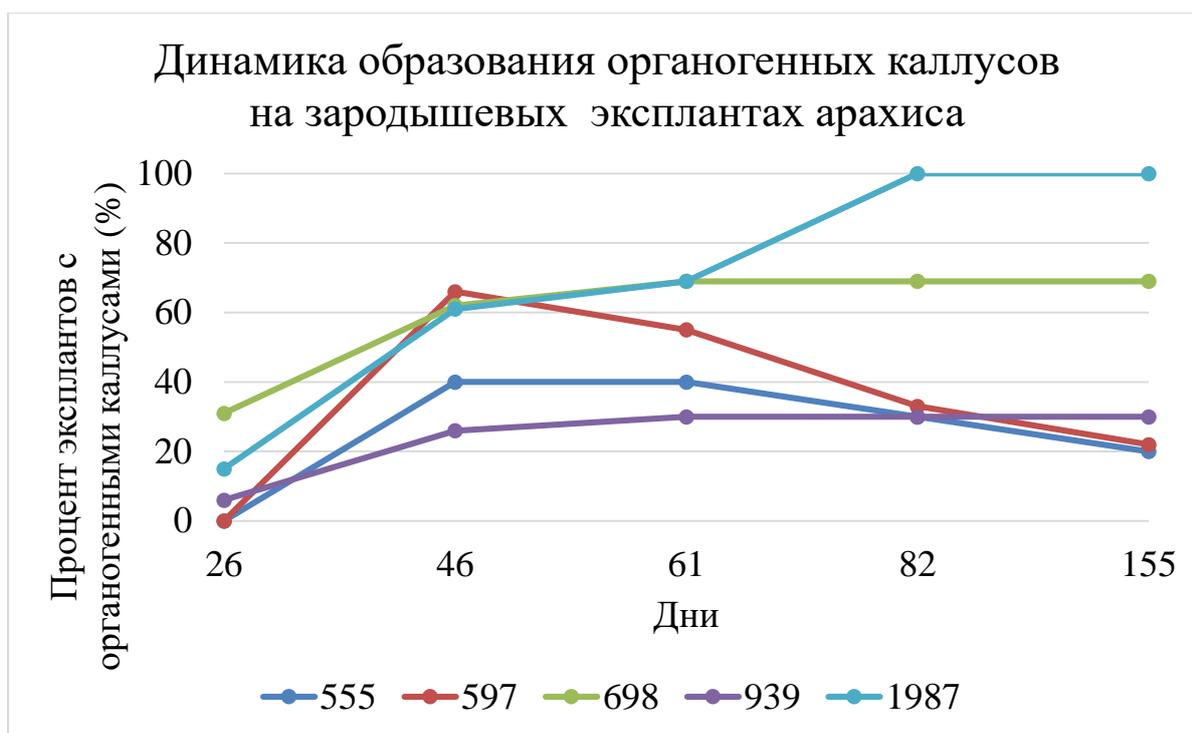


Рисунок 5. Оценка регенерационной способности некоторых образцов арахиса

Образцы под номерами каталога кк-793, 2054 и 2055 не образовали органогенные каллусы. Наилучшие результаты у образцов к-698 из Марокко (70% зародышей образовали каллусы) и к-1987 сорт Отрадокубанский из России (100% зародышей образовали каллусы).

В ходе работы проводили измерение размеров каллусов. График изменения средних размеров каллусов представлен на рисунке 6. Начиная с 5 мм (примерный размер зародышей) через 7 дней после посадки происходило их постепенное увеличение. Наибольшее увеличение в размерах происходит в период 20-26 дней после посадки, что связано с образованием каллусов. У образцов под номерами кк-555, 597 и 939 существенное увеличение размеров после образования каллусов не наблюдалось. Образцы кк-698 и 1987 демонстрировали рост во время всего периода наблюдения.

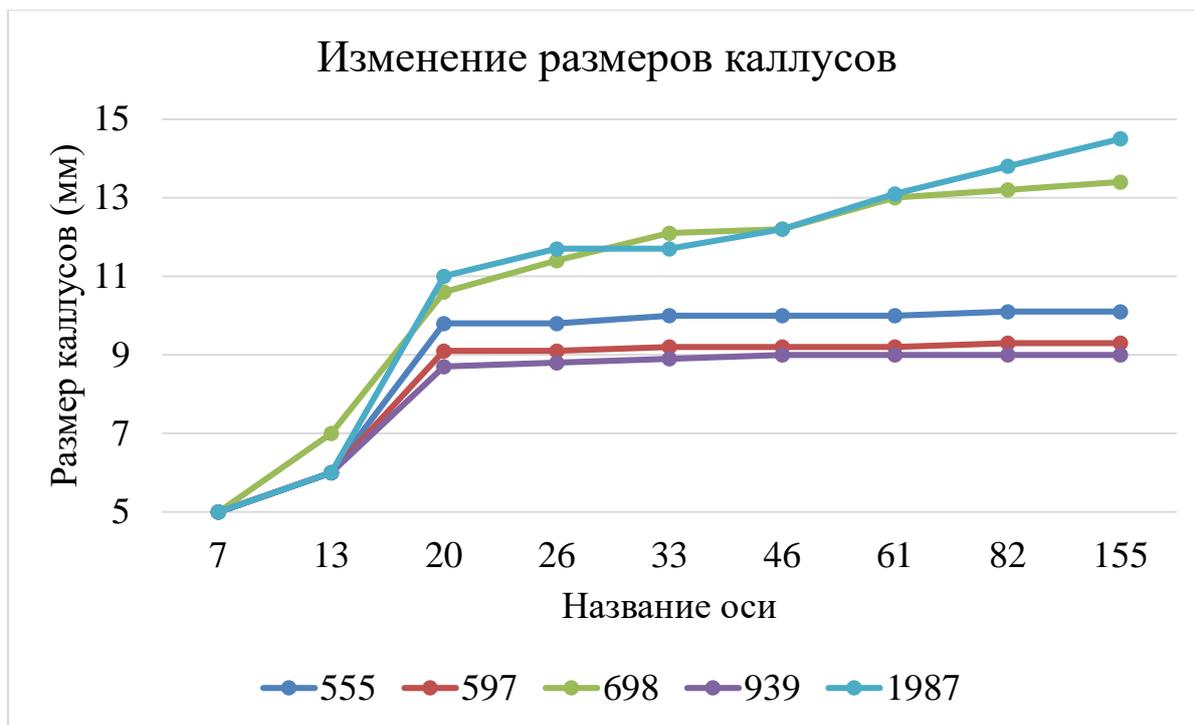


Рисунок 6. График изменения размеров каллусов

## Заключение

### Выводы:

1. В результате эколого-географического испытания арахиса в двух точках юга России (ПАФНЦ РАН, КОС – филиал ВИР) за три года (2019-2021гг.) удалось отобрать образцы с высокой вызреваемостью в обоих пунктах за каждый год исследования. Так же выделены образцы к-3 и к-793 как обладающие лучшей вызреваемостью на протяжении трех лет исследований в ПАФНЦ РАН и КОС ВИР.
2. Выделены образцы с лучшей продуктивностью в обеих точках за каждый год. Образцы к-317 и к-868 отмечены как самые высокопродуктивные на ПАФНЦ РАН за три года; образцы к-283 и к-1157 показали высокую продуктивность в течении трех лет на КОС ВИР.
3. В условиях поливного земледелия и более благоприятных почвенных и климатических условий ПАФНЦ РАН отмечены более высокая продуктивность и урожай бобов с делянки образцов арахиса по сравнению с КОС ВИР в условиях отсутствия полива.
4. Анализ биохимического состава жирных кислот 24 образцов арахиса выявил образец коллекции к-555 с оптимальным соотношением непредельных жирных кислот: 53,25 % олеиновой кислоты и 27,43 % линолевой. В образцах из ПАФНЦ РАН за 2019г. синтез линолевой кислоты происходит более интенсивно по сравнению с КОС ВИР, вероятно в связи с погодными условиями в период вегетации.
5. Оценка регенерции арахиса из выделенных зародышей выявила образцы (к-698 и к-1987) с лучшими способностями каллусообразования из зародышевых эксплантов. Среда Мурасиге-Скуга с гормоном 2,4Д в концентрации 2г/л способствует успешному образованию органогенных каллусов.

6. В результате анализа экспрессии гена кукумопинситазы (*cis*) – гена синтеза опиона в 9 образцах арахиса, показана органоспецифичность экспрессии; выявлены образцы, контрастные по уровню экспрессии гена *cis*: с высоким уровнем экспрессии в корнях (кк-168, 416, 751). Впервые получены данные о работе гена *cis* на разных этапах развития растений на образцах к-168 и к-1157, о чем свидетельствуют результаты экспрессии гена. Выявлено повышение уровня экспрессии во время цветения, во время прорастания семян экспрессия ниже.
7. В качестве перспективных для селекции отобраны крупносемянные образцы под номерами кк-698, 2047, 2064, характеризующиеся лучшими показателями в течении трех лет исследований. Кроме того, для сортоиспытания были отобраны образцы кк-596, 597, обладающие очень мелкими (около 5-7мм в диаметре) семенами.

На данный момент корреляции между хозяйственно-ценными признаками арахиса и уровнем экспрессии генов синтеза опинов не обнаружено. Планируется расширение выборки образцов для молекулярно-генетических исследований на основе эколого-географических испытаний.

Так же проводится опыт по сравнению количества образования клубеньков у образцов арахиса контрастных по уровню экспрессии гена *cis* на удобренной азотом и бедной почвах. Предположительно образцы с высоким уровнем экспрессии генов синтеза опинов будут в большем количестве образовывать клубеньки на любой почве, чем образцы с низким уровнем экспрессии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Badawi F.Sh.F, Biomy A.M.M., Desoky A.H. Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with Bradyrhizobium and some rhizomicroorganisms under sandy loam soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*. 2011;56(1):17-25. DOI: org/10.1016/j.aoas.2011.05.005

Chen J.H. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In: *International Workshop on Sustained Management of the Soil Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use*, October 16–26, 2006. Bangkok, Thailand; 2006. p.1-11.

Chen Z., Wang M.L., Barkley N.A., Pittman R. A Simple AlleleSpecific PCR Assay for Detecting FAD2 Alleles in Both A and B Genomes of the Cultivated Peanut for HighOleate Trait Selection. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2010;28:542-548. DOI: 10.1007/s11105-010-0181-5

Ermakov A.I., Davidyan G.G., Yarosh N.P., Rykova R.P., Anashchenko A.V., Lemeshev N.K., Megorskaya O.M. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 337. Oil crops. Characters of oil quality according to fatty acids content (Maslichnye kultury. Kharakteristika kachestva masla po sodержaniyu zhirnykh kislot). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Ермаков А.И., Давидян Г.Г., Ярош Н.П., Анащенко А.В., Лемешев Н.К, Рыкова Р.П., Мегорская О.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. Ленинград: ВИР; 1982).

Ermakov A.I., Yarosh N.P. Features and variability of oil seed quality in oil crops (Osobennosti i izmenchivost kachestva masla semyan maslichnykh kulturnykh rasteniy). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1976;56(3):3-56. [in Russian] (Ермаков А.И., Ярош Н.П. Особенности и изменчивость качества масла семян масличных культурных растений. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1976;56(3):3-56). FAOSTAT: Food and agriculture data. Available from: [http:// www.fao.org/faostat/en/#home](http://www.fao.org/faostat/en/#home) [accessed Dec. 13, 2019].

Data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

Gavrilova V.A., Shelenga T.V., Porokhovinova E.A., Dubovskaya A.G., Konkova N.G., Grigoryev S.V. et al. The diversity of fatty acids composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. *Biological Communications [preprint]* 2020.

Husted L. Cytological studies of the peanut *Arachis*. I. Chromosome number and morphology. *Cytologia*. 1933;5(1):109-117. DOI: 10.1508/cytologia.5.109

Ivanenko E.N. Groundnut: a promising oilseed crop (*Arachis* – перспективная масличная культура) *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1989;125:31-35. [in Russian] (Иваненко Е.Н. Арахис – перспективная масличная культура. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1989;125:31- 35).

Luzina Z.A. *Arachis L. – Peanut (Arachis)*. In: E.V. Vulf (ed.). *Flora of Cultivated Plants of the USSR. Vol. 7. Oil crops (Kulturnaya flora SSSR. T. 7. Maslichnye)*. Moscow; Leningrad; 1941. p.136-192. [in Russian] (Лузина З.А. *Arachis L. – Арахис*. В кн: *Культурная флора СССР. Т. 7. Масличные / под ред. Е.В. Вульфа*. Москва; Ленинград; 1941. С.136-192).

Luzina Z.A. *Peanut (Arachis)*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1954. [in Russian] (Лузина З.А. *Арахис*. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1954).

Mathivanan J., Jayaraman P. Enhancement of Growth and Yield of *Arachis hypogaea L.* Using Different Biofertilizers. *International Letters of Natural Sciences*. 2019;74:1-9. DOI: 10.18052/www.scipress.com/ilns.74.1

Matveeva T.V., Otten L. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by *Agrobacterium*. *Plant Molecular Biology*. 2019;101(4-5):415-437. DOI: 10.1007/s11103-019-00913-y

Matveeva T.V., Sokornova S.V. Biological traits of naturally transgenic plants and their evolutionary roles. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2017;64(5):635-648.

Obydalo D.I., Ogarkov I.A. Peanuts: from the tropics to the temperate latitudes (*Arachis: iz tropikov – v umerennye shirotы*). In: History of Scientific Research in VNIIMK for 90 years (*Istoriya nauchnykh issledovaniy vo VNIIMK za 90 let*). Krasnodar; 2002. p.88-94. [in Russian] (Обыдало Д.И., Огарков И.А. Арахис: из тропиков – в умеренные широты. В кн.: История научных исследований во ВНИИМК за 90 лет. Краснодар; 2002. С.88-94).

Phillips T.D., Wynne J.C., Elkan G.H., Schneeweis T.J. Effect of Bradyrhizobium Strain on Combining Ability for Nitrogen Fixation in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Breeding*. 1989;103(2):141-148. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1989.tb00362.x

Rami J.-F., Leal-Bertioli S.C.M., Foncéka D., Moretzsohn M.C., Bertioli D.J. Groundnut In: A. Pratap, J. Kumar (eds). *Alien Gene Transfer in Crop Plants*. Vol. 2. Achievements and Impacts. Philadelphia: Springer; 2014. p.253-279. DOI: 10.1007/978-1-4614-9572-7\_12

Singh A.K. Putative genome donors of *Arachis hypogaea* (Fabaceae), evidence from crosses with synthetic amphidiploids. *Plant Systematics and Evolution*. 1988;160:143- 151. DOI: 10.1007/bf00936041

Singh A.K., Moss J.P. Utilization of wild relatives in genetic improvement of *Arachis hypogaea* L.: 5. Genome analysis in section *Arachis* and its implication in gene transfer. *Theoretical and Applied Genetics*. 1984;68:355-364. DOI: 10.1007/bf00267889

Stebbins E.L. Contribution of the graduate school of public health; plans for the future. *Am J Public Health Nations Health*. 1957 Dec;47(12):1508-12.

Toomsan B., McDonagh J.F., Limpinuntana V., Giller K.E. Nitrogen fixation by groundnut and soyabean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand. *Plant and Soil*. 1995;175(1):45-56. DOI: 10.1007/bf02413009

Tuz R.K., Podolnaya L.P., Asfandiyarova M.Sh., Dubovskaya A.G., Eremin V.A., Migacheva E.O. Variability of peanut samples of VNIIMK's breeding in the conditions of the Astrakhan region. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of*

VNIIMK. 2018;4(176):64-67. [in Russian] (Туз Р.К., Подольная Л.П., Асфандиярова М.Ш., Дубовская А.Г., Еремин В.А., Мигачева Е.О. Изменчивость образцов арахиса селекции ВНИИМК в условиях Астраханской области. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК 2018;4(176):64-67). DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-64-67

Vakhrusheva T.E. Evaluation of peanut collection (*Arachis hypogaea* L.). Guidelines (Изучение коллекции арахиса (*Arachis hypogaea* L.). Методические указания). St. Petersburg: VIR; 1995. [in Russian] (ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ АРАХИСА (*Arachis hypogaea* L.). Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).

Vakhrusheva T.E. Peanut (*Arachis*). In: Oil Crops for Food Purposes in Russia (Breeding Problems and Assortment) (Масличные культуры для пищевого использования в России [проблемы селекции, сортимент]). St. Petersburg: VIR; 1998. p.20-23. [in Russian] (Вахрушева Т.Е. Арахис. В кн.: Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент). Санкт-Петербург: ВИР; 1998. С.20-23).

Vakhrusheva T.E., Pereverzev D.S. The use of peanuts in the confectionery industry (Использование арахиса в кондитерской промышленности) AgroNIITEIPP. 1993;17(2):30. [in Russian] (Вахрушева Т.Е., Переверзев Д.С. Использование арахиса в кондитерской промышленности. АгроНИИТЭИПП. 1993;17(2):30).

Wang M.L., Khera P., Pandey M.K., Wang H., Qiao L., Feng S. et al. Genetic Mapping of QTLs Controlling Fatty Acids Provided Insights into the Genetic Control of Fatty Acid Synthesis Pathway in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). PLOS ONE 2015;10(4):e0119454. DOI: 10.

Zharare G.E., Blamey F.P.C., Asher C.J. Initiation and Morphogenesis of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Pods in Solution Culture. Annals of Botany. 1998;81(3):391-396. DOI: 10.1006/anbo.1997.0569 Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi). Leningrad; 1971. [in

Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. Ленинград; 1971).

Вахрушева Т.Е. Арахис / В кн.: Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент). – Санкт-Петербург: Изд-во ВИР. – 1998. – С. 20-23.

Вахрушева Т.Е. Изучение коллекции арахиса. Методические указания – Санкт-Петербург: Изд-во ВНИИР им. Н.И.Вавилова (ВИР), 1995. – 26с.

Вахрушева Т.Е., Иваненко Е.И. Классификатор вида *Arachis hypogaea* L. (Арахис подземный или земляной орех) - Ленинград: Изд-во ВНИИР им. Н.И.Вавилова (ВИР), 1985. – 20с.

Давидян Г.Г. Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур – Ленинград: Изд-во ВНИИР им. Н.И.Вавилова (ВИР), 1976. – 22с.

Матвеева Т.В., Сокорнова С.В., Биологические особенности природно-трансгенных растений и их роль в эволюции, Физиология растений, 2017, том 64, № 5, с. 1–15

Туз Р.К., Подольная Л.П., Асфандиярова М.Ш., Дубовская А.Г., Еремин В.А., Мигачева Е.О. Изменчивость образцов арахиса селекции ВНИИМК в условиях Астраханской области // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2018. – Вып.4 (176). – С. 64-67.

## ПУБЛИКАЦИИ:

Кишлян Н. В., Бимова В.Д., Матвеева Т.В., Гаврилова В.А. Биологические особенности и возделывание арахиса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 2020, т. 181, вып.1, С.25-33. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-25-33

Бимова В.Д., Сокорнова С.В., Гасич Е.Л., Матвеева Т.В. Микросателлитные маркеры фитопатогенного гриба *Voeremia Exigua*. В книге: VII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы. Сборник тезисов Международного Конгресса. 2019 С. 474 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39156607>

Бимова В.Д., Якушева Т.В., Асфандиярова М.Ш., Эколого-географическое изучение образцов арахиса по хозяйственно ценным признакам. Сборник материалов 11-й Всероссийской конференции с международным участием молодых учёных и специалистов «Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур», ВНИИМК 2021.

Сокорнова С.В., Гасич Е.Л., Бимова В.Д., Матвеева Т.В. Поиск и видовая идентификация патогенов природно-трансенного вида *Linaria vulgaris* // Экологическая генетика. – 2018 – Т. 16 – № 1 – С. 27–34. doi: 10.17816/ecogen16127-34. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34857132>

Богомаз О., Бимова В.Д., Рогачева М., Сокорнова С.В., Матвеева Т.В. Природно-трансенные растения: эндемики и космополиты, тезисы докладов научной конференции В сборнике: Сохранение природной среды и особо охраняемые природные территории (К 100-летию мониторинга экосистем Петергофа и его окрестностей) Материалы XI Молодежной экологической Школы- конференции с международным участием в усадьбе "Сергиевка". 2017 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32804557>