

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

## Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования

Е.В. Семенова<sup>1</sup>✉, А.П. Бойко<sup>2</sup>, Л.Ю. Новикова<sup>1</sup>, М.А. Вишнякова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Адлерская опытная станция – филиал Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Сочи, Россия

✉ e.semenova@vir.nw.ru

**Аннотация.** Поддержание жизнеспособности и изучение образцов коллекции гороха ВИР осуществляется на опытных станциях института в разных агроклиматических зонах страны. Каждый образец коллекции включен в трехлетний цикл полевого изучения по комплексу селекционно значимых признаков. Фенотипический скрининг коллекции позволяет осуществить оценку признаков, выявить характер их изменчивости и ранжировать образцы по значениям признаков в качестве исходного материала для селекции. Один из основных принципов дифференциации генофонда гороха – разделение образцов по направлениям использования: зерновому, кормовому и овощному. Каждое из этих направлений требует специализированного исходного материала. Между тем четко очерченного перечня различий между фенотипами растений каждого из этих направлений не существует. Более того, имеется множество сходных признаков, порой затрудняющих отнесение сорта к той или иной категории использования. В настоящей статье приведены анализ и обобщение данных трехлетнего фенотипирования образцов коллекции в условиях Краснодарского края на Адлерской опытной станции. Объектом исследования служили 494 коллекционных образца, происходящих из 43 стран и 18 областей и краев Российской Федерации. Образцы оценивали по четырем качественным, десяти количественным и четырем фенологическим признакам. Статистическая обработка данных полевой оценки позволила выявить, что образцы означенных направлений достоверно различались по комплексу признаков: длина стебля; число бобов на растении; число узлов до первого цветка; число цветков в кисти; максимальное число семян в бобе; длина и ширина боба. Определены средние значения этих признаков для всех направлений использования. Овощные сорта максимально отличаются от кормовых. Зерновые занимают промежуточное положение. Выявленный комплекс фенотипических признаков, определяющий различия трех групп направлений использования гороха, упростит работу с коллекцией, в частности подбор исходного материала для селекции соответствующих сортов. Ключевые слова: горох; коллекция ВИР; направление использования; изменчивость признаков; корреляции; ANOVA; PCA.

**Для цитирования:** Семенова Е.В., Бойко А.П., Новикова Л.Ю., Вишнякова М.А. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):599-608. DOI 10.18699/VJGB-22-74

## Phenotypic traits differentiating the genetic resources of pea (*Pisum sativum* L.) by the type of use

E.V. Semenova<sup>1</sup>✉, A.P. Boyko<sup>2</sup>, L.Y. Novikova<sup>1</sup>, M.A. Vishnyakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Adler Experiment Station – Branch of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Sochi, Russia

✉ e.semenova@vir.nw.ru

**Abstract.** The paper presents an analysis of the data obtained for pea accessions from the VIR collection studied at the Adler Experiment Station in the setting of the Krasnodar Territory in 2017–2019. It was for the first time that these accessions were studied for a set of phenotypic traits. The object of the study was a sample of 494 pea accessions originated from 43 countries and 18 regions and territories of the Russian Federation. The work was carried out in compliance with the methodological guidelines developed at VIR. Statistica 13.3 software was employed for statistical data processing. An assessment of four qualitative, 10 quantitative and four phenological traits in the accessions made it possible to differentiate them by the type of use, that is, as dry, forage and garden peas. The varieties differing in the type of use significantly differed by the values of such traits as stem length, number of pods per plant, number of nodes to the first flower, number of flowers in the inflorescence, the maximum number of seeds per pod, pod length, and a narrower pod of forage pea compared to that of dry and garden peas. The average values of these traits were recorded for the peas with different types of use. The maximum difference was noted between garden and forage pea

varieties. Dry pea varieties occupied an intermediate position. The complex of phenotypic traits identified determines the differences between three types of pea use, which is important when selecting the initial material for breeding appropriate varieties.

Key words: pea; collection; accessions; traits; variability; correlations; using.

**For citation:** Semenova E.V., Boyko A.P., Novikova L.Y., Vishnyakova M.A. Phenotypic traits differentiating the genetic resources of pea (*Pisum sativum* L.) by the type of use. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(7):599-608. DOI 10.18699/VJGB-22-74

## Введение

Коллекция гороха ВИР – средоточие мирового разнообразия вида *Pisum sativum* L., содержит более 8 тыс. образцов из 93 стран мира. Коллекция структурирована в соответствии с ботанической и агроэкологической классификацией, со статусом образцов, отражающим степень их селекционной проработки, ранжирована в соответствии со значением биологических и агрономических признаков и т.п. Для использования генофонда гороха в народном хозяйстве самой значимой является его дифференциация по направлениям использования: зерновому, кормовому, овощному.

Четко очерченного перечня различий между фенотипами растений каждого из этих направлений не существует. Более того, имеется множество сходных признаков, порой затрудняющих отнесение сорта к той или иной категории использования. Селекционное улучшение сортов всех направлений имеет общие задачи: высокая урожайность, высокое содержание белка в семенах, неполегаяемость, создание архитектоники растений, пригодной для механизированной уборки, устойчивость к патогенам. Однако есть комплекс признаков, характерный для каждой группы хозяйственного использования, причем некоторые из них присущи только данной группе.

Известно, что для зернового гороха (*P. sativum* L. subsp. *sativum*), применяемого в качестве продовольственной культуры, свойственны белые цветки, гладкая поверхность семян преимущественно с желтой и желто-розовой семенной оболочкой (возможно, зеленой и сизо-зеленой). Для хорошей разваримости оболочка семени должна быть тонкой (Хангильдин, 1972). Селекция зернового гороха нацелена на высокую семенную продуктивность, высокий уборочный индекс, т.е. выход семян по отношению к скошенной массе гороха, высокое содержание белка.

Кормовые сорта отличаются разноокрашенными цветками, семенами разной окраски, преимущественно темными, крапчатыми. Селекция укосно-кормовых сортов направлена на получение высокой зеленой массы, быстрый темп ее накопления, высокорослость и высокую степень облиственности, низкое процентное содержание клетчатки и высокое содержание белка в зеленой массе (Адамова, 1975). Поэтому при селекции кормовых сортов лучше использовать формы с традиционным типом листа и индетерминантным типом роста (Рее..., 2019). Для кормовых сортов желательна низкая масса 1000 семян (менее 100 г), что позволяет расходовать меньшее по массе количество посевного материала. Среди зерновых и кормовых сортов известны переходные формы, которые можно назвать зерно-кормовыми (зернофуражными).

Овощные сорта белоцветковые, имеют мозговые (морщинистые), преимущественно зеленые семена, крупные

бобы. Они должны отличаться дружным цветением и синхронным образованием плодов, высоким выходом зеленого горошка по отношению к вегетативной массе, что подразумевает сравнительно небольшую высоту растений. Один из главных акцентов селекции овощного гороха – совершенствование углеводного комплекса, определяющего вкусовые качества зеленого горошка в свежем и консервированном виде. Это высокое содержание сахаров (6.5–8.5 %) при относительно низком накоплении крахмала (4–5.5 %), содержащего большое количество амилозы (Самарина, 1970; Аликина (Путина) и др., 2016; Путина и др., 2018).

Четкое различие сортов гороха по группам использования имеет решающее значение для характеристики исходного материала и его адресного применения. Работы по выявлению критериев отличия сортов разных групп использования у зернобобовых культур в ВИР ведутся систематически (Вишнякова и др., 2011, 2013; Бурляева, Мальшев, 2013; Бурляева и др., 2014).

Ежегодное воспроизводство образцов коллекции ВИР и ее фенотипирование в полевых условиях по ряду биологических и агрономических признаков позволяют, наряду с их оценкой, выявить дифференциацию генофонда по множеству параметров. Цель данной статьи – очертить круг фенотипических признаков, определяющих разделение генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям хозяйственного использования.

## Материалы и методы

**Материал.** Коллекционные образцы изучали в течение трех лет (2017–2019) на Адлерской опытной станции – филиале ВИР. В исследование были включены 494 образца гороха посевного (*P. sativum* L.) различных направлений использования (зерновой – 203 образца, овощной – 217, кормовой – 74) из 43 стран и из 18 областей и краев Российской Федерации, поступившие в коллекцию ВИР начиная с 2005 г. Десятью и более образцами представлены 10 стран: Россия – 112 образцов, США – 94, Франция – 45, Австралия – 27, Нидерланды – 26, Украина – 18, Китай – 16, Сирия – 14, Германия – 12, Канада – 10. В РФ больше всего образцов из Вологодской (19), Орловской (14), Тюменской (14), Московской (13) и Ростовской (10) областей и из Краснодарского края (11 образцов).

**Методы.** Образцы изучали в соответствии с методическими указаниями (Вишнякова и др., 2010). Семена высевали в третьей декаде марта на однорядковые делянки длиной 2.5 м (~1 м<sup>2</sup>). Во время вегетации проводили описание фенологических и морфологических признаков. Урожай собирали в снопы и оценивали по основным морфологическим, биологическим и хозяйственным признакам по мере созревания с начала июня по конец июля.

Оценка признаков приведена с корректировкой по отдельным признакам в соответствии с «Международным классификатором СЭВ рода *Pisum L.*» (Макашева и др., 1986) в баллах, граммах, штуках и сутках.

Перечень оцененных признаков:

- качественные показатели (в баллах) – окраска семени, морфотип листа, наличие или отсутствие пергаментного слоя в створке боба, срастание семяножки с семенной кожурой;
- количественные показатели – длина стебля (см), число цветков в кисти (шт.), длина боба (см), ширина боба (см), число узлов до первого цветка (шт.), урожайность (урожай семян с делянки, г), семенная продуктивность растения (г), масса 1000 семян (г), число бобов на растении (шт.), устойчивость к гороховой зерновке (*Bruchus pisorum L.*) (% массы здоровых семян к общей массе);
- фенологические данные – посев, всходы, цветение, созревание. Рассчитана продолжительность межфазных периодов (сут): посев–всходы (ПВ), всходы–цветение (ВЦ), цветение–созревание (ЦС); продолжительность вегетационного периода (сут) – всходы–созревание (ВС).

Оценка образцов по количественным признакам дана по среднему значению признака за три года. Статистическая обработка выполнена в программе Statistica 13.3. Исследованы корреляции количественных характеристик образцов. Проведен однофакторный дисперсионный анализ зависимости от направления использования, наличия пергаментного слоя, срастания семяножки с семенной кожурой; двухфакторный – зависимости от направления использования и морфотипа. Для апостериорных сравнений использован тест Тьюки для неравных выборок. Структура выборки изучена методом главных компонент (РСА). В исследовании принят уровень значимости 5 %.

**Погодные условия эксперимента.** Станция расположена на северо-восточном побережье Черного моря, в Краснодарском крае. Климат влажный субтропический, с теплой дождливой зимой и солнечным летом. В изучаемый период самым холодным и влажным был 2017 г.:

средняя температура за апрель–июнь 15.9 °С, сумма осадков 403 мм. Самый теплый – 2018 г.: средняя температура за апрель–июнь 19.1 °С, сумма осадков 119 мм. 2019 г. характеризовался средними значениями температуры 18.5 °С, осадков – 233 мм. То есть в целом погодные условия станции вполне соответствуют агроклиматическим требованиям гороха.

## Результаты и обсуждение

### Фенологические данные

Средняя продолжительность периода ВЦ распределилась в интервале от 27 до 53 сут у зерновых, от 28 до 54 – у овощных и от 34 до 58 – у кормовых образцов (табл. 1). Самое раннее цветение (на 27-й день) отмечено у зернового сорта из Франции ‘Nain de Mai’ (к-10068) и овощных сортов (на 28-й день) ‘Салинеро’ (к-9811) из Нидерландов и ‘Extra Rapide’ (к-9137) из Франции. Основная масса зерновых образцов (>80 %) зацвела в интервале 36–45 дней от всходов. Овощные сорта по этому признаку распределились более равномерно. У кормовых образцов цветение наступало позднее.

Наиболее скороспелый образец изученного набора относился к категории овощных и имел продолжительность периода «всходы–созревание» в среднем 59 сут (Alsweet, США, к-9796), а самый позднеспелый был кормовым и созрел за 84 сут (к-10174, Кормовой-50, РФ, Алтайский край) (табл. 2). Следует отметить высокую положительную связь периодов ВЦ и ВС по всей выборке ( $r = 0.87$ ).

### Сравнение групп сортов разного направления использования методом ANOVA

При исследовании значений признаков однофакторным дисперсионным анализом (табл. 3) образцы разных направлений использования достоверно различались по большинству признаков, кроме ЦС ( $p = 0.636$ ).

Значимым признаком для технологичности уборки является морфотип листа. Большинство современных сортов переводится на безлисточковую основу – усатый тип листа (генотип *afaf*). В нашей выборке этот морфотип досто-

**Таблица 1.** Число образцов с различной продолжительностью периода «всходы–цветение»

Направление использования	Период «всходы–начало цветения», дней					Всего
	<31	31–35	36–40	41–45	>45	
Зерновое	4	10	59	105	25	203
Овощное	23	33	78	74	9	217
Кормовое	–	2	18	21	33	74

**Таблица 2.** Число образцов с различной продолжительностью периода «всходы–созревание»

Направление использования	Период «всходы–созревание», дней							Всего
	<60	60–64	65–69	70–74	75–79	80–84	>84	
Зерновое	6	49	82	57	9	0	0	203
Овощное	41	63	73	36	4	0	0	217
Кормовое	3	15	18	21	13	4	0	74

**Таблица 3.** Значение изученных признаков у групп гороха разного направления использования

Показатель	Направление использования			
	зерновое	овощное	кормовое	Всего
Число образцов	203	217	74	494
Усатый тип листа, %	35.2 ± 3.4	16.4 ± 2.5	15.5 ± 4.3	24 ± 1.9
Неосыпающиеся семена, %	20.7 ± 2.9	1.8 ± 0.9	21.6 ± 4.8	12.6 ± 1.5
Период «всходы–цветение», сут	41.4 ± 0.3	38.1 ± 0.4	44.2 ± 0.6	40.4 ± 0.2
Период «цветение–созревание», сут	26.0 ± 0.2	25.9 ± 0.2	25.6 ± 0.4	25.9 ± 0.1
Период «всходы–созревание», сут	67.4 ± 0.3	63.9 ± 0.4	69.9 ± 0.7	66.2 ± 0.3
Урожай семян с делянки, г	178.5 ± 3.6	147.3 ± 3.5	163.7 ± 6.2	162.6 ± 2.4
Семенная продуктивность растения, г	8.7 ± 0.2	8.1 ± 0.2	8.0 ± 0.3	8.3 ± 0.1
Устойчивость к зерновке, % здоровых семян	69.6 ± 0.7	79.8 ± 0.6	72.5 ± 1.2	74.5 ± 0.5
Масса 1000 семян, г	181.2 ± 2.4	158.9 ± 2.2	150.2 ± 5	166.8 ± 1.7
Длина стебля, см	100.3 ± 2.4	84.4 ± 2.2	129.5 ± 4.6	97.7 ± 1.7
Число бобов на растении, шт.	12.5 ± 0.3	11.0 ± 0.3	14.6 ± 0.8	12.2 ± 0.2
Число цветков в кисти, шт.	1.9 ± 0.0	1.7 ± 0.0	1.7 ± 0.0	1.8 ± 0.0
Максимальное число семян в бобе, шт.	6.3 ± 0.1	7.2 ± 0.1	6.6 ± 0.1	6.7 ± 0.1
Длина боба, см	6.9 ± 0.1	7.5 ± 0.1	6.7 ± 0.2	7.1 ± 0.1
Ширина боба, см	1.5 ± 0.0	1.5 ± 0.0	1.3 ± 0.0	1.5 ± 0.0
Число узлов до первого цветка, шт.	14.2 ± 0.2	11.5 ± 0.2	15.3 ± 0.3	13.2 ± 0.1

верно чаще встречался у зернового гороха (35.2 %), чем у овощного (16.4 %) и кормового (15.5 %). Такое распределение образцов вполне соответствует современному состоянию селекции гороха и требованиям к сортам разных направлений использования. Для кормовых сортов этот признак неактуален. Большую облиственность для создания высокой вегетативной массы лучше обеспечивает традиционный тип листа. Что касается овощных сортов, их перевод на безлисточковую основу как за рубежом, так и в нашей стране начался поздно по сравнению с зерновыми и находится в процессе развития (Аликина (Путина) и др., 2016). Об отсутствии значимых новаций в отечественной селекции овощного гороха свидетельствует и выявленный недавно факт, что как старые, так и, еще в большей степени, новые овощные сорта фенотипически менее разнообразны, чем зарубежные (Синюшин, Анисимова, 2020).

Признак неосыпаемости семян, обусловленный плотным срастанием семяножки с оболочкой семени, редко наблюдался у овощного гороха (у 1.8 % сортов) по сравнению с зерновым (20.7 %) и кормовым (21.6 %). Это объясняется тем, что признак был придан сортам гороха для того, чтобы при высыхании и растрескивании зрелых бобов семена не осыпались, как это происходит у диких форм и староместных сортов, приводя к значительной потере урожая (Зеленов, 2013). Неосыпаемость семян важна для зерновых и кормовых сортов. Овощные сорта убирают в стадии технической спелости, задолго до возможного растрескивания бобов, что делает этот признак неактуальным. Кроме того, прочно сросшаяся с семенем семяножка портит вид консервированного горошка.

Продолжительность периода ВС в среднем по образцам составила 66.2 сут, при этом все группы достоверно

различались. Наибольшее значение ВС отмечено у кормовых сортов (69.9 сут), среднее – у зерновых (67.4 сут) и наименьшее – у группы овощного гороха (63.9 сут). Эти сроки соответствуют назначению сортов: для максимального наращивания вегетативной массы у кормовых сортов нужен более длительный период, а овощной горох требует для своего созревания до технической спелости минимальных сроков. Полученное нами значение ВС овощного гороха, на наш взгляд, может быть меньше. Мы объясняем это тем, что в выборке оказалось много старых овощных сортов. Современные сорта отличаются большей скороспелостью. К примеру, современные сорта селекции Крымской опытно-селекционной станции имеют вегетационный период от 53 до 75 сут, тем самым обеспечивая конвейер сортов для продолжительной и бесперебойной переработки (Беседин, 2014; Беседин, Путина, 2019; Путина, Беседин, 2020).

Продолжительность периода ВС связана с длительностью периода ВЦ, который в среднем составил 40.4 сут: у овощного гороха достоверно короче (38.1 сут), чем у зернового (41.4 сут) и кормового (44.2 сут), достоверно не различающихся. Период ЦС у всех трех групп был практически одинаковым – в среднем 25.9 сут.

Средний урожай семян с делянки составил 162.6 г. Достоверно различались зерновой горох с наибольшей урожайностью (178.5 г/делянки) и овощной (147.3 г/делянки). Кормовой имел среднее значение урожайности (163.7 г) и достоверно от остальных групп не отличался. Семенная продуктивность растения достоверно по тесту Тьюки не различалась и составила 8.3 г.

Устойчивость к гороховой зерновке в среднем по изученной выборке была 74.5 % (процентное содержание

здоровых семян), максимальная – у овощных (79.8 %), что достоверно выше, чем у зернового (69.6 %) и кормового гороха (72.5 %), которые между собой достоверно не различались. Меньшей поражаемости овощного гороха в определенной степени способствует его скороспелость, позволяющая уходить от лёта зерновки в стадии жука. Известно, что их лёт имеет определенную сезонную приуроченность.

Масса 1000 семян (размер семян) в среднем по выборке равна 166.8 г. Самые крупные семена зафиксированы у зернового гороха (181.2 г), что достоверно выше, чем у овощного (158.9 г) и кормового (150.2 г), которые между собой достоверно не различались.

Кроме перечисленного, достоверные различия трех групп отмечены по следующим признакам:

- длина стебля. При среднем значении по выборке 97.7 см наибольшая длина зафиксирована у кормового гороха (129.5 см), наименьшая – у овощного (84.4 см), средняя – у зернового (100.3 см);
- число бобов на растении. Среднее по выборке значение 12.2 шт., максимальное – у кормового гороха (14.6), наименьшее – у овощного (11.0), среднее – у зерновых сортов (12.5);
- число узлов до первого цветка. При среднем значении 13.2 максимальное отмечено у кормового гороха (15.3), среднее – у зернового (14.2), наименьшее – у овощного (11.5);
- число цветков в кисти: в среднем 1.8, у зернового достоверно больше (1.9), чем у овощного (1.7) и кормового (1.7), которые между собой достоверно не различались;
- максимальное число семян в бобе в среднем по выборке 6.7. Достоверно наибольшее у овощного гороха (7.2), у зернового и кормового – 6.3 и 6.6 соответственно;
- длина боба. Самое высокое значение у овощного гороха (7.5 см), зерновой и кормовой достоверно не отличались друг от друга: у зерновой – 6.9 см, у кормовой – 6.7 см;
- ширина боба не имеет достоверных различий у зерновой и овощной гороха – 1.5 см, у кормового гороха боб существенно уже – 1.3 см.

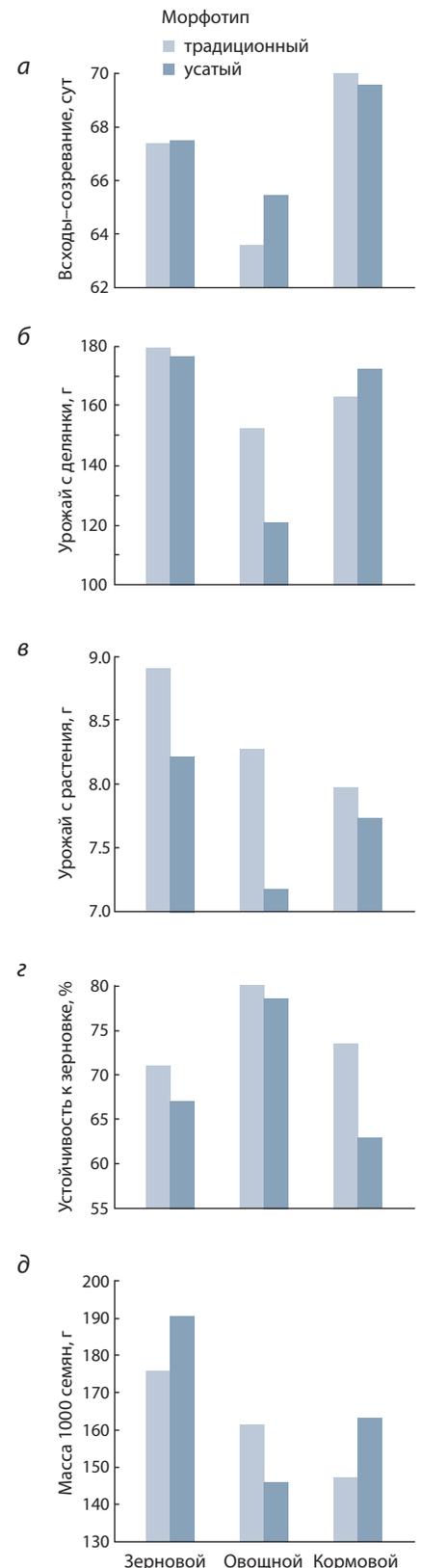
Двухфакторный анализ связи направления использования и морфотипа (усатый/традиционный) проведен на 116 образцах усатого и 368 образцах традиционного морфотипов. Десять образцов выборки имели другие морфотипы, полученные на основе рецессивных мутаций листа: акация (*tl*) – 5, рассеченно-листочковый (*af<sup>tlc</sup>A*) – 1, многократно-непарноперистый (*af<sup>tl</sup>*) – 4.

Усатый морфотип характеризовался достоверными отличиями от образцов с традиционным морфотипом листа (листочковых форм), независимо от направления использования, в среднем с большей долей образцов с неосыпающимися семенами (25.9 vs 8.2 %). Это можно объяснить тем, что оба признака приданы сортам в сравнительно недавнее время, поэтому большая часть генотипов с осыпающимися семенами присуща сортам с традиционным морфотипом. Усатым сортам свойственна меньшая устойчивость к зерновке (70.1 vs 75.8 %), меньшая длина стебля (84.7 vs 102.2), меньшее число бобов на растении (10.8 vs 12.6), большее число цветков в кисти (2.0 vs 1.7, кроме кормового). Урожай с делянки достоверно не различался (159.6 г – усатый, 163.7 г – обычный морфотипы) (рис. 1).

### Корреляционный анализ

На основе средних значений за три года для сортов рассчитали корреляции хозяйственно ценных признаков образцов со всеми изученными показателями (табл. 4). Проанализировали средние и сильные корреляции, т. е. коэффициент корреляции  $r > 0.3$  по модулю.

К хозяйственно ценным характеристикам отнесены количественные признаки: продолжительность вегетационного периода (ВС), урожайность, семенная продуктивность растения, масса 1000 семян, устойчивость к зерновке. Связь между признаками в группах разных направлений использования для большинства характеристик одинакова, что позволяет характеризовать выборку в целом (см. табл. 4).

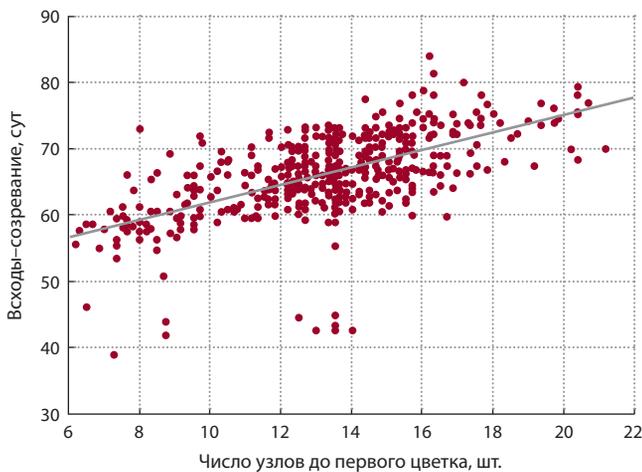


**Рис. 1.** Характеристики образцов гороха разных направлений использования с усатым и традиционным типом листа. а – период «всходы-созревание»; б – урожай с делянки; в – урожай с растения; г – устойчивость к гороховой зерновке; д – масса 1000 семян.

**Таблица 4.** Коэффициенты корреляции хозяйственно ценных признаков с другими агробиологическими показателями

Показатель	Период «всходы– созревание»	Урожай с делянки	Продуктив- ность растения	Устойчивость к зерновке	Масса 1000 семян
Период «посев–всходы»	0.00	–0.41*	–0.36*	–0.07	0.06
Период «всходы–цветение»	0.87*	0.01	0.05	–0.29*	–0.12*
Период «цветение–созревание»	0.53*	–0.03	0.05	–0.12*	0.01
Период «всходы–созревание»	1.00	–0.01	0.01	–0.31*	–0.09*
Урожай с делянки	–0.01	1.00	0.78*	–0.15*	0.33*
Семенная продуктивность растения	0.05	0.78*	1.00	0.00	0.29*
Устойчивость к зерновке	–0.31*	–0.15*	0.00	1.00	–0.18*
Масса 1000 семян	–0.09*	0.33*	0.29	–0.18*	1.00
Длина стебля	0.33*	0.32*	0.35*	–0.27*	–0.15*
Число бобов на растении	0.21*	0.28*	0.29*	–0.17*	–0.30*
Число цветков в кисти	0.20*	0.00	–0.07	–0.20*	0.00
Максимальное число семян в бобе	–0.06	–0.07	0.05	0.36*	–0.28*
Длина боба	–0.01	–0.04	0.16*	0.18*	0.26*
Ширина боба	–0.13*	0.16*	0.28*	0.00	0.57*
Число узлов до первого цветка	0.61*	0.21*	0.18*	–0.44*	0.03*

\* Значимые коэффициенты  $p < 0.05$ .



**Рис. 2.** Зависимость периода «всходы–созревание» от числа узлов до первого цветка.

Урожай с делянки положительно коррелировал с продуктивностью растения ( $r = 0.78$ ), массой 1000 семян ( $r = 0.33$ ) и длиной стебля ( $r = 0.32$ ), отрицательно – с ПВ ( $r = -0.41$ ). Первые три связи очевидны, последняя, по-видимому, объясняется тем, что у долго всходящих семян ниже энергия прорастания – показатель, характеризующий дружные и ровные всходы, а значит, хорошую выровненность и выживаемость растений, что должно обеспечивать их урожайность.

Семенная продуктивность растения в среднем по выборке положительно связана с длиной растения ( $r = 0.35$ ), отрицательно – с ПВ ( $r = -0.36$ ). Однако она по-разному

формировалась у сортов разных направлений использования: у зернового гороха связь семенной продуктивности с числом бобов  $r = 0.31$ . У овощного гороха связь с длиной стебля  $r = 0.53$ , с числом бобов  $r = 0.49$ . У кормовых сортов связь с длиной стебля  $r = 0.40$ , с числом семян в бобе  $r = 0.32$ , длиной боба  $r = 0.48$ , шириной боба  $r = 0.47$ , с массой 1000 семян  $r = 0.48$ .

Продолжительность ВС больше коррелировала с ВЦ ( $r = 0.87$ ), чем с ЦС ( $r = 0.53$ ).

Связь длины стебля с вегетационным периодом ( $r = 0.33$ ) объясняется тем, что основная масса сортов – индетерминанты: чем дольше растение живет, тем оно длиннее. Наблюдалась положительная корреляция ВС с числом узлов до первого цветка (ЧУ):  $r = 0.61$ , что подтверждает роль ЧУ как индикатора скороспелости (Макашева и др., 1986). При увеличении ЧУ на один узел период ВС увеличивается на 1.3 сут (рис. 2). Эту закономерность можно выразить формулой  $BC = 48.8 + 1.3 \times ЧУ$ .

Устойчивость к гороховой зерновке в целом по выборке положительно связана с числом семян в бобе ( $r = 0.36$ ); по направлениям использования:  $r = 0.32$  у зернового,  $r = 0.22$  у овощного, незначимо – у кормового ( $r = 0.01$ ). Устойчивость к зерновке отрицательно связана с ЧУ ( $r = -0.44$ ); по направлениям использования:  $r = -0.29$  у зернового,  $r = -0.40$  у овощного, у кормового – незначимо ( $r = -0.05$ ). По мере увеличения числа непродуктивных узлов увеличиваются сроки созревания сортов и уменьшается число здоровых семян (сильнее поражение вредителем). Скороспелые образцы уходят от лета насекомых, поэтому меньше поражаются (рис. 3). Связь с продолжительностью вегетационного периода (ВС) по направлениям использования: зерновое –  $r = -0.18$ , овощное –  $r = -0.32$ , кормовое –  $r = 0.02$ .

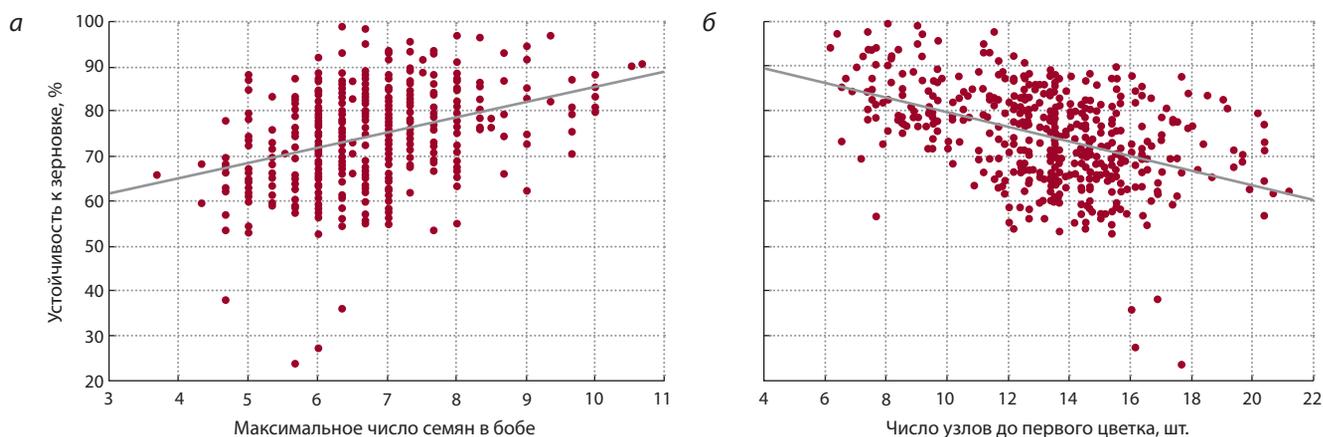


Рис. 3. Зависимость устойчивости к зерновке от числа семян в бобе (а) и числа узлов до первого цветка (б).

Таблица 5. Факторные нагрузки четырех факторов PCA

Показатель	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Период «посев–всходы»	-0.337	-0.403	0.423	0.297
Период «всходы–цветение»	<b>0.727</b>	-0.201	0.505	-0.216
Период «всходы–созревание»	0.694	-0.206	0.505	-0.181
Урожай с делянки	0.407	<b>0.703</b>	-0.293	0.110
Семенная продуктивность растения	0.358	<b>0.773</b>	-0.190	-0.076
Не поврежденные зерновкой семена, %	-0.516	0.059	-0.220	-0.486
Масса 1000 семян	-0.089	0.600	0.324	0.613
Длина стебля (среднее)	<b>0.710</b>	0.193	-0.214	-0.202
Число бобов на растении (среднее)	0.611	-0.054	-0.422	-0.151
Число цветков в кисти (среднее)	0.235	-0.234	0.264	0.190
Максимальное число семян в бобе	-0.327	0.176	0.236	<b>-0.790</b>
Боб, длина	-0.326	0.491	0.600	-0.401
Боб, ширина	-0.224	0.692	0.423	0.134
Число узлов до первого цветка (среднее)	<b>0.814</b>	-0.004	0.298	0.000
Expl. Var	3.553	2.546	1.940	1.701
Prp. Totl	0.254	0.182	0.139	0.121

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее высокие нагрузки факторов.

Процентное содержание здоровых семян было выше у зеленых (79.3 %), меньше у желтых семян (68.8 %) как зерновых (73.7 vs 68.5 %), так и овощных сортов (80.4 vs 71.9 %). Об этом же свидетельствует факт более высокой устойчивости к зерновке овощных сортов, имеющих преимущественно зеленые семена.

Масса 1000 семян положительно связана с шириной боба ( $r = 0.57$ ). Эта зависимость наблюдается у образцов всех направлений и является самой сильной корреляцией: зерновые –  $r = 0.43$ , овощные –  $r = 0.65$ , кормовые –  $r = 0.71$ . При увеличении ширины боба (ШБ) на 1 см масса 1000 семян увеличивается в среднем на 109 г. Эту зависимость можно выразить формулой  $M1000 = 8.7 + 109.0 \times \text{ШБ}$ .

Семенная продуктивность растения – один из важнейших признаков в структуре урожайности гороха, который

вместе с массой 1000 семян определяет индивидуальную продуктивность растений. Это один из самых изменчивых признаков у сельскохозяйственных культур, в том числе гороха.

Наибольший коэффициент межгодовой вариации наблюдался у урожая семян с делянки (в среднем по выборке 55.5 %), урожай с растения был чуть стабильнее (36.6 %). Более стабильны число бобов (28.4 %) и длина стебля (14.4 %). Наиболее стабильными по годам были число цветков в кисти (2.2 %), ЧУ (4.1 %), длина боба (4.4 %), ширина боба (4.5 %), максимальное число семян в бобе (7.2 %), масса 1000 семян (10.3 %).

Осуществлен анализ полиморфизма выборки методом главных компонент (PCA). По критерию «каменистой осыпи» выделяются четыре фактора, которые объясняют 69.6 % общей дисперсии (табл. 5).

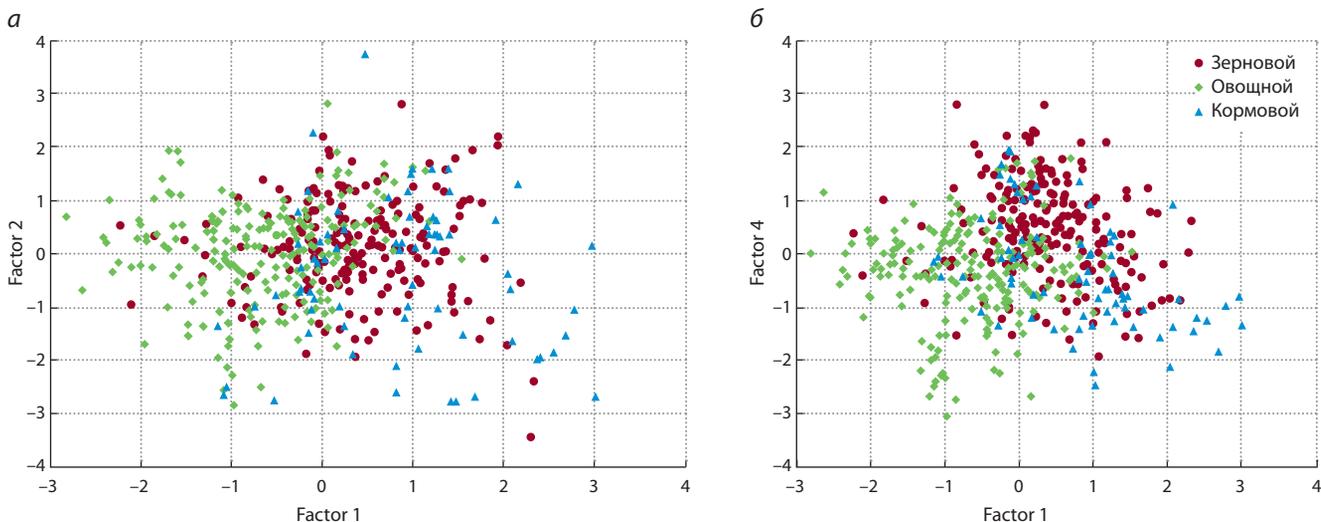


Рис. 4. Распределение 494 образцов гороха в пространстве первого и второго (а) и первого и четвертого (б) факторов.

Первый фактор (объясняющий 24.5 %) связан с продолжительностью ВС и сопряженными с ней признаками – длиной стебля, числом узлов до первого цветка. Его можно назвать фактором вегетации растений. Второй фактор (18.2 %) связан с урожаем с делянки и семенной продуктивностью растения, массой 1000 семян и шириной боба. Третий (13.9 %) – с длиной боба, четвертый (12.1 %) – с максимальным числом семян в бобе.

По первому фактору разделяются группы овощного и кормового направлений (рис. 4, а), контрастные по продолжительности ВС, длине стебля, числу узлов до первого цветка. По второму и третьему факторам нет визуальных различий направлений использования, а по четвертому фактору контрастны образцы овощного направления с максимальным числом семян в бобе и зернового – с минимальным (см. рис. 4, б).

Ранее нами была изучена выборка из 112 образцов гороха коллекции ВИР в условиях Ленинградской области и проведен дискриминантный анализ данных, позволивший выявить признаки, по которым можно установить принадлежность образца к группе хозяйственного использования (Семанова, Соболев, 2009). При статистической интерпретации принадлежности образцов к тому или иному типу сорта самыми значимыми были некоторые качественные признаки, такие как форма семян, форма боба, наличие антоциана в цветке, и размах изменчивости количественных признаков – число бобов, число продуктивных узлов на растении, масса 1000 семян. Как и в настоящем исследовании, самые крупные семена отмечены у зерновых сортов, более мелкие – у овощных, самые мелкие – у кормовых (195.9, 184.3 и 150.5 г соответственно в текущем эксперименте; 181.2, 158.9 и 150.2 г в цитируемой работе). Среднее значение числа бобов на растении было одинаковым в обоих опытах – 12.2 шт. При этом и в нашем исследовании, и в цитируемой статье наибольшее значение оказалось у кормового гороха (14.6 и 16.5 соответственно), среднее – у зерновых сортов (12.5 и 11.4), наименьшее – у овощного (11.0 и 8.6). Сходные результаты получены и по признаку «число семян в бобе», несмотря

на то что в цитируемой статье вычисляли среднее число, а в нашем исследовании – среднее максимального числа семян в бобе. Самое высокое значение отмечено у овощных сортов (5.0 – в цитируемой и 7.2 – в данной работе), среднее – у кормовых (4.8 и 6.3), минимальное – у зерновых (4.4 и 6.6).

Сходство результатов исследований, проведенных в большом диапазоне эколого-географических условий обоих экспериментов, свидетельствует о том, что перечисленные признаки можно считать дифференцирующими при отнесении образцов гороха к тому или иному типу хозяйственного использования.

При RAPD-маркировании фенотипированной выборки из 112 образцов, упомянутой выше, выявлена генетическая близость сортов в пределах разных направлений использования и дистанцирование их друг от друга. На дендрограмме генетического родства тесно сгруппировались овощные сорта, компактно расположились кормовые сорта, при этом обе группы находились на значительном удалении друг от друга. Исходными по отношению к обеим группам были зерновые сорта, проявившие генетическую близость к той и другой группе (Вишнякова и др., 2011). Как и в настоящем исследовании, установлено, что среди зерновых и кормовых сортов имеются переходные формы, занимающие промежуточное положение между ними, которые можно назвать зерно-кормовыми (зернофуражными) сортами.

В работе французских ученых, изучавших 148 современных сортов гороха преимущественно западноевропейской селекции и примитивных форм посредством использования 121 белкового маркера и ПЦР-анализа, также выявлена дифференциация выборки по направлениям использования: зерновому, кормовому и зернофуражному. Удалось проследить основные тенденции западноевропейской селекции за последние двадцать лет XX в.: увеличение размеров семян; преобладание белоцветковых форм и признака безлисточковости; повышение холодоустойчивости, необходимой при осеннем посеве, широко практикуемом в странах Европы (Baranger et al., 2004).

## Заключение

По результатам трехлетнего полевого изучения образцов гороха из коллекции ВИР выявлен комплекс фенотипических признаков, достоверно различающихся у сортов гороха разных направлений хозяйственного использования: зернового, кормового и овощного. К ним относятся: длина стебля; число бобов на растении; число узлов до первого цветка; число цветков в кисти; максимальное число семян в бобе; длина боба и ширина боба (более узкий боб у кормового гороха по сравнению с зерновым и овощным). Зафиксированы средние значения этих признаков для всех направлений использования. Наибольшее число отличительных признаков отмечено у овощных сортов, максимально отличавшихся от кормовых. Зерновые образцы занимают промежуточное положение и обладают рядом сходных (перекрывающихся) признаков с кормовыми.

Полная характеристика материала по перечисленным в статье признакам опубликована в 2020 г. в «Каталоге мировой коллекции ВИР» (Семенова и др., 2020).

## Список литературы / References

- Адамова О.П. Новый исходный материал для селекции гороха на корм. *Бюл. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та растениеводства*. 1975;53:44-48.  
[Adamova O.P. New source material for pea breeding for fodder. *Byulleten' Vsesoyuznogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Rasteniyevodstva = Bulletin of the Plant Industry Institute*. 1975;53:44-48. (in Russian)]
- Аликина (Путина) О.В., Беседин А.Г., Путин О.В., Вишнякова М.А. Сравнительная оценка сортов овощного гороха двух морфотипов по комплексу признаков в условиях Краснодарского края. *Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(1):35-51.  
[Alikina (Putina) O.V., Besedin A.G., Putin O.V., Vishnyakova M.A. Comparative evaluation of garden pea varieties of two morphotypes according to a set of traits in Krasnodar Region. *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii = Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*. 2016;177(1):35-51. (in Russian)]
- Беседин А.Г. Конвейер гороха. *Картофель и овощи*. 2014;8:36.  
[Besedin A.G. Pea conveyor. *Kartofel i Ovoshchi = Potato and Vegetables*. 2014;8:36. (in Russian)]
- Беседин А.Г., Путина О.В. Новые сорта гороха овощного ранней группы спелости. *Овощи России*. 2019;2(46):39-42.  
[Besedin A.G., Putina O.V. New early varieties of vegetable pea. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*. 2019;2(46):39-42. (in Russian)]
- Бурляева М.О., Малышев Л.Л. Применение факторного и дискриминантного анализа для оценки исходного материала сои по урожайности зеленой массы и дифференциации сортов по направлениям использования. *Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции*. 2013;173:55-67.  
[Burlyaeva M.O., Malyshev L.L. Application of factor and discriminant analysis for evaluation of the source material of soybean for green manure yield and differentiation of varieties by direction of utilization. *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii = Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*. 2013;173:55-67. (in Russian)]
- Бурляева М.О., Малышев Л.Л., Вишнякова М.А. Признаки-индикаторы для классификации кормовых сортов сои по целевому использованию (сенное, силосное, зеленоукусное). *Докл. РАСХН*. 2014;4:27-30.  
[Burlyaeva M.O., Malyshev L.L., Vishnyakova M.A. Indicator traits for classifying forage soybean varieties according to intended use (hay, silage, green fodder). *Doklady Rossiyskoy Akademii Selsko-khozyaystvennykh Nauk = Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2014;4:27-30. (in Russian)]
- Вишнякова М.А., Булынец С.В., Бурляева М.О., Буравцева Т.В., Егорова Г.П., Семенова Е.В., Сеферова И.В. Исходный материал для селекции овощных бобовых культур в коллекции ВИР. *Овощи России*. 2013;1(18):16-25.  
[Vishnyakova M.A., Bulyntsev S.V., Burlyaeva M.O., Buravtseva T.V., Egorova G.P., Semenova E.V., Seferova I.V. The initial material for grain legumes breeding in the collection of VIR. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*. 2013;1(18):16-25. (in Russian)]
- Вишнякова М.А., Буравцева Т.В., Булынец С.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Александрова Т.Г., Янков И.И., Егорова Г.П., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение. СПб.: ВИР, 2010.  
[Vishnyakova M.A., Buravtseva T.V., Bulyntsev S.V., Burlyaeva M.O., Semenova E.V., Seferova I.V., Alexandrova T.G., Yan'kov I.I., Egorova G.P., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation, and study. Methodological guidelines. St. Petersburg: VIR Publ., 2010. (in Russian)]
- Вишнякова М.А., Бурляева М.О., Буравцева Т.В., Соболев Д.В., Алпатьева Н.В. Выявление генетического разнообразия коллекции зернобобовых ВИР посредством RAPD-маркирования образцов. *Молекуляр. и прикл. генетика*. 2011;12:80-89.  
[Vishnyakova M.A., Burlyaeva M.O., Buravtseva T.V., Sobolev D.V., Alpat'eva N.V. Identification of genetic diversity in the VIR legume collection by means of RAPD marking of accessions. *Molekulyarnaya i Prikladnaya Genetika = J. Mol. Appl. Genet.* 2011;12:80-89. (in Russian)]
- Зеленов А.Н. О признаке неосыпаемости семян у гороха. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013;2:79-85.  
[Zelenov A.N. Seed nonshattering attribute in pea. *Zernobobovyye i Krupyanyye Kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2013;2:79-85. (in Russian)]
- Макашева Р., Белехова К., Корнейчук В., Леманн Х., Павелкова А. Международный классификатор СЭВ рода *Pisum* L. Л., 1986.  
[Makasheva R., Belekhoва K., Kornejchuk V., Lehmann Chr., Pavelkova A. The International Comecon List of Descriptors for the Genus *Pisum* L. Leningrad, 1986. (in Russian)]
- Путина О.В., Беседин А.Г. Адаптивная способность и стабильность генотипов гороха овощного разных групп спелости. *Овощи России*. 2020;4:45-49.  
[Putina O.V., Besedin A.G. Adaptive ability and stability genotypes of vegetable peas of different ripeness groups. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*. 2020;4:45-49. (in Russian)]
- Путина О.В., Бобков С.В., Вишнякова М.А. Углеводный состав семян и его связь с другими селекционно значимыми признаками у овощного гороха (*Pisum sativum* L.) в условиях Краснодарского края. *С.-х. биология*. 2018;53(1):179-188. DOI 10.15389/agrobiology.2018.1.179rus.  
[Putina O.V., Bobkov S.V., Vishnyakova M.A. Seed carbohydrate composition and its relation to another breeding important traits of garden pea (*Pisum sativum* L.) in Krasnodar Region. *Selskokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(1):179-188. DOI 10.15389/agrobiology.2018.1.179eng.]
- Самарина Л.Н. Накопление углеводов в созревающем зеленом горошке и качество консервов. В: Труды науч.-техн. конф. Ленингр. технол. ин-та холод. промышленности. 1970;99-102.  
[Samarina L.N. The accumulation of carbohydrates in ripening green peas and the quality of canned food. In: Proceedings of Sci.-Tech. Conference of the Leningrad Technol. Institute of Refrigeration Industry. 1970;99-102. (in Russian)]
- Семенова Е.В., Соболев Д.В. Продуктивность образцов гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции ВИР в условиях Ленинградской области. *Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:242-249.

- [Semenova E.V., Sobolev D.V. Productivity of pea (*Pisum sativum* L.) accessions from the VIR collection in the Leningrad region. *Trudy po Prikladnoy Botanike, Genetike i Seleksii* = *Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*. 2009;166:242-249. (in Russian)]
- Семенова Е.В., Шолухова Т.А., Бойко А.П. Горох. Агробиологическая характеристика сортов разных направлений использования в условиях Краснодарского края. Сер. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 910. СПб.: ВИР, 2020. DOI 10.30901/978-5-907145-16-0.
- [Semenova E.V., Sholukhova T.A., Boiko A.P. Pea: agrobiological description of cultivars for diverse uses in the environments of Krasnodar Territory. Ser. Catalogue of the VIR Global Collection. Iss. 910. St. Petersburg: VIR Publ., 2020. (in Russian)]
- Синюшин А.А., Анисимова Д.А. К проблеме динамики генетического полиморфизма у сортов гороха (*Pisum sativum* L.) отечественной селекции. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(1):13-23.
- [Sinjushin A.A., Anisimova D.A. On the problem of genetic polymorphism dynamics in Russian cultivars of garden pea (*Pisum sativum* L.). *Biotehnologiya i Seleksiya Rasteniy* = *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(1):13-23. (in Russian)]
- Хангильдин В.Х. Достижения, перспективы и задачи селекции гороха. В: Материалы Всесоюз. науч.-метод. совещания селекционеров. М., 1972;258-264.
- [Khangildin V.Kh. Achievements, prospects, and objectives of pea breeding. In: Proceedings of the All-Union Scientific and Methodological Meeting of Breeders. Moscow, 1972;258-264. (in Russian)]
- Baranger A., Aubert G., Arnau G., Lainé A.L., Deniot G., Potier J., Weinachter C., Lejeune-Hénaut I., Lallemand J., Burstin J. Genetic diversity within *Pisum sativum* using protein- and PCR-based markers. *Theor. Appl. Genet.* 2004;108:1309-1321.
- Pea (*Pisum sativum* L.) Characteristics for Use and Successful Planting. Plant Materials Technical Note No. 19-01. 2019.

---

#### ORCID ID

E.V. Semenova orcid.org/0000-0002-2637-1091  
A.P. Boyko orcid.org/0000-0002-1510-8546  
L.Y. Novikova orcid.org/0000-0003-4051-3671  
M.A. Vishnyakova orcid.org/0000-0003-2808-7745

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР по проекту № 481-2022-0002.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 06.05.2022. После доработки 01.07.2022. Принята к публикации 20.07.2022.