

ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ГОРОХА НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

И.П. ОШЕРГИНА, аспирант, E-mail: egoriha76@mail.ru,

ORCID ID 0000-0002-5131-5091

Е.А. ТЕН, аспирант, E-mail: jekon_t87.07@mail.ru,

ORCID ID 0000-0001-8173-672X

Д.М. ПЕСТОВА, E-mail: Peestov_a@mail.ru,

ORCID ID 0009-0009-3922-6473

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР ЗЕРНОВОГО ХОЗЯЙСТВА
ИМ. А.И. БАРАЕВА, КАЗАХСТАН, П. НАУЧНЫЙ.

***Аннотация.** В условиях сухостепной зоны Северного Казахстана в 2023-2025 гг. проведена комплексная селекционная оценка коллекционных образцов гороха (*Pisum sativum* L.) различных морфологических типов с целью выявления генотипов, устойчивых к дефициту влаги и способных обеспечивать стабильную урожайность в условиях климатической нестабильности. Объектом исследований служили усатые и листочковые формы гороха различного эколого-географического происхождения. Опыты заложены на чернозёмах обыкновенных с применением общепринятых методик ВИР и статистической обработки данных.*

В ходе исследований изучены фенологические особенности развития растений, морфологические признаки, элементы структуры урожая и показатели продуктивности. Для оценки засухоустойчивости использован комплекс интегральных индексов (STI, GMP, HM, MP, TOL, SSI, K1SYI, K2SY), а также проведён корреляционный анализ взаимосвязей между урожайностью и индексами устойчивости в стрессовых и благоприятных условиях.

Установлено, что усатый морфотип в среднем характеризуется более укороченным и стабильным вегетационным периодом, меньшей межгодовой вариабельностью признаков и более сбалансированным сочетанием урожайности и засухоустойчивости. Листочковые формы обладают высоким потенциалом продуктивности в благоприятные годы, однако проявляют повышенную чувствительность к водному дефициту. Наиболее информативными показателями при селекционной оценке обоих морфотипов являются индексы HM, GMP и STI, тесно коррелирующие с урожайностью в стрессовых условиях. По совокупности признаков выделены перспективные генотипы Л-26/120, Труженник, Pinocchio и j.C.A/53/54, рекомендованные для использования в селекционных программах, направленных на создание адаптивных сортов гороха для условий сухостепной зоны.

Ключевые слова: горох (*Pisum sativum* L.), засухоустойчивость, продуктивность, селекционная оценка, индексы засухоустойчивости, адаптивность, сухо-степная зона Северного Казахстана.

Для цитирования: Ошергина И.П., Тен Е.А., Пестова Д.М. Оценка коллекционных образцов гороха на засухоустойчивость в условиях Северного Казахстана. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2026. № 1 (57):27-38 DOI: 10.24412/2309-348X-2026-1-27-38

EVALUATION OF PEA GERMPLASM FOR DROUGHT TOLERANCE UNDER THE CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

I.P. Oshergina, E.A. Ten, D.M. Pestova

A. I. BARAEV RESEARCH AND PRODUCTION CENTER OF GRAIN FARMING,
Kazakhstan, poselok Nauchnyi

Abstract: *Under the conditions of the dry-steppe zone of Northern Kazakhstan, a comprehensive breeding evaluation of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm was carried out in 2023-2025 in order to identify genotypes tolerant to water deficit and capable of maintaining stable yield under climatic instability. The objects of the study were tendril and leafy pea forms of different ecological and geographical origin. Field experiments were conducted on ordinary chernozem soils using standard VIR methodologies and statistical data analysis. During the study, phenological development, morphological traits, yield structure components, and productivity indicators were evaluated. Drought tolerance was assessed using a set of integrated indices (STI, GMP, HM, MP, TOL, SSI, K1SYI, K2SY), and correlation analysis was performed to determine relationships between yield and drought tolerance indices under stress and favorable conditions. The results showed that the tendril morphotype was generally characterized by a shorter and more stable vegetation period, lower interannual variability of traits, and a more balanced combination of yield and drought tolerance. Leafy forms demonstrated a high productivity potential in favorable years but exhibited increased sensitivity to water deficit. The most informative indices for breeding evaluation of both morphotypes were HM, GMP, and STI, which showed a close correlation with yield under drought conditions. Based on the combined assessment of productivity and drought tolerance, the genotypes L-26/120, Truzhenik, Pinochio, and j.S.A/53/54 were identified as promising and recommended for use in breeding programs aimed at developing adaptive pea cultivars for dry-steppe environments.*

Keywords: pea (*Pisum sativum* L.); drought tolerance; productivity; breeding evaluation; drought tolerance indices; adaptability; dry-steppe zone of Northern Kazakhstan.

Введение

Современные изменения климата, сопровождающиеся ростом антропогенной нагрузки и демографического давления, приводят к усилению стрессовых воздействий в агроэкосистемах, что снижает их устойчивость и увеличивает риски продовольственной небезопасности [1]. В этих условиях особое значение приобретают сельскохозяйственные культуры, способные обеспечивать стабильное производство растительного белка при ограниченной обеспеченности ресурсами.

Зернобобовые культуры занимают второе место по значимости в структуре мирового потребления после зерновых [2]. В научных публикациях последних лет подчёркивается возрастающая роль бобовых как источника растительного белка, что связано как с трансформацией структуры питания населения, так и с необходимостью повышения его сбалансированности. Увеличение доли зернобобовых культур в рационе рассматривается как экономически оправданный и социально значимый путь оптимизации продовольственного обеспечения при сохранении необходимого уровня белкового питания.

Горох (*Pisum sativum* L.) является одной из наиболее распространённых зернобобовых культур и широко используется как в пищевом, так и в кормовом направлении. Существенным преимуществом культуры является её способность к биологической фиксации атмосферного азота, что позволяет снижать потребность в применении минеральных удобрений. Высокая питательная ценность зерна и сравнительно низкие затраты на возделывание определяют значимость гороха в ресурсосберегающих и экологически ориентированных системах земледелия [3].

В условиях республики Казахстан, особенно в зонах с недостаточным увлажнением, засуха остаётся одним из основных факторов, ограничивающих реализацию продуктивного потенциала зернобобовых культур, включая горох [4]. Климат Северного Казахстана характеризуется высокой межгодовой изменчивостью осадков, повышенной испаряемостью и частым снижением гидротермического коэффициента ниже оптимальных значений ($ГТК < 1,0$) [5]. Дефицит влаги, совпадающий с критическими фазами органогенеза, такими как бутонизация, цветение и формирование бобов, приводит к нарушению физиологических процессов, снижению интенсивности фотосинтеза и нестабильному формированию урожая по годам [6].

Генетическое разнообразие гороха по морфологическим и физиологическим признакам создаёт широкие возможности для отбора генотипов, адаптированных к стрессовым условиям среды. В условиях глобального потепления селекция гороха, ориентированная на повышение засухоустойчивости и стабильности продуктивности, рассматривается как одно из приоритетных направлений современных селекционных программ [7]. В этой связи особую актуальность приобретает комплексная оценка коллекционных образцов гороха с использованием интегральных показателей засухоустойчивости и адаптивности.

Цель работы – выявить генотипы гороха, отличающиеся повышенной засухоустойчивостью и стабильной продуктивностью в почвенно-климатических условиях Северного Казахстана, на основе комплексной оценки коллекционного материала с применением интегральных показателей адаптивности.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились в республике Казахстан, Акмолинской области, Шортандинском районе, в поселке Научный, в Товариществе с ограниченной ответственностью «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А. И. Бараева» в 2022-2024 годах. Полевые опыты закладывались по чистому пару. Тип почв опытного участка – чернозёмы обыкновенные.

Проведено изучение 24 образцов гороха разного эколого-географического происхождения, из них 13 генотипов усатого морфологического типа листа и 11 листочкового. Весовая норма высева определялась с учетом лабораторной всхожести по ГОСТ 12038-84 исходя из массы 1000 зерен, определенной по ГОСТ 12042. Норма высева составляла 100 шт/м². Посев гороха был проведен во второй и третьей декаде мая. Семенной материал высеивается селекционной, фракционной, конусной сеялкой точного высева с 7 сошниками (ССФК-7) на делянках площадью 4 м², глубина заделки семян 3-4 см, расстояние между рядами 15 см., в соответствии с Методическими указаниями Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР) [8]. Непосредственно после посева было проведено прикатывание кольчато-шпоровыми катками.

Фенологические наблюдения, учет урожая и анализы растений проводили по методике ГНУ Всероссийский НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова [8]. В период вегетации проводились фенологические наблюдения и визуальная оценка образцов. Для структурного анализа в период созревания, перед уборкой делянок был проведён отбор структурного снопа с учетных площадок, отбирали по 25 растений. Оценка элементов структуры урожая выполнялась на основе Международного классификатора СЭВ рода *Pisum* L. (1990). Уборка опытных делянок была проведена селекционным комбайном Wintersteiger Classic.

По образцам гороха был произведен расчет индексов засухоустойчивости на основе литературных данных:

$$STI \text{ (Stress tolerance index/ индекс засухоустойчивости)} = (Y_p \cdot Y_s) / (\bar{Y}_p^2);$$

$$GMP \text{ (геометрическая средняя урожайность)} = \sqrt{Y_p \cdot Y_s} [9];$$

$$HM \text{ (Harmonic mean)} = 2(Y_p \times Y_s) / (Y_p + Y_s) [10];$$

$$TOL \text{ (толерантность к засухе)} = Y_p - Y_s; MP \text{ (средняя урожайность)} = (Y_p + Y_s)/2 [11];$$

$$YSI \text{ (Yield stability index /Индекс стабильности урожайности)} = Y_s / Y_p [12];$$

SSI (Stress susceptibility index/ индекс восприимчивости к стрессу) = $1 - (Y_s/Y_p) / SI$; $SI = 1 - (Y_s/Y_p)$, где SI интенсивность стресса, Y_s и Y_p среднее значение всех генотипов в стрессовых и благоприятных условиях, соответственно [13].

Модифицированный индекс засухоустойчивости (MSTI) рассчитывали в виде коэффициентов K_1STI и K_2STI , отражающих относительную продуктивность генотипов в стрессовых и благоприятных условиях соответственно. Значения индексов определяли по формулам:

$$K_1STI = STI \times (Y_s / \bar{Y}_s);$$

$$K_2STI = STI \times (Y_p / \bar{Y}_p),$$

где Y_s и Y_p – урожайность генотипа в стрессовых и оптимальных условиях, \bar{Y}_s и \bar{Y}_p – средние значения урожайности по всем изучаемым образцам [14].

Математическую обработку результатов измерений проводили с применением статистического пакета Statistica 6.0. Для интерпретации полученных данных использовали метод описательной статистики.

Результаты и обсуждение

Агроклиматические условия периода исследований. Анализ агроклиматических показателей вегетационных периодов 2023-2025 гг. свидетельствует о выраженной межгодовой вариабельности условий увлажнения и температурного режима, определявшей уровень влагообеспеченности посевов гороха (табл. 1).

Таблица 1

Распределение осадков, средняя температура воздуха и ГТК по периодам развития гороха

Месяц	Температура, °С				Осадки, мм				ГТК			
	2023	2024	2025	ср/мн	2023	2024	2025	ср/мн	2023	2024	2025	ср/мн
Май	15,3	11,2	16,2	12,5	2,5	76,9	54,6	32,4	0,0	2,30	1,20	0,0
Июнь	20,0	22,6	19,5	18,3	13,2	63,2	40,0	39,5	0,1	0,92	0,68	0,7
Июль	24,4	21,7	19,4	19,9	6,8	63,3	10,2	57,0	0,0	0,93	0,17	1,0
Август	19,0	17,3	17,0	17,4	12,7	106,6	104,8	39,8	0,2	1,95	1,99	0,8
Среднее/сумма	19,6	18,0	18,03	17,0	35,2	310,0	209,6	168,7	0,0	1,22	1,01	0,8

Наиболее контрастные отклонения от среднемноголетних значений зафиксированы в 2023 и 2024 гг., преимущественно в мае и июле – фазах, критических для формирования генеративных органов и налива семян.

В 2023 г. сложились экстремально засушливые условия: сумма осадков в мае и июле составила соответственно 2,5 и 6,8 мм при повышенных температурах воздуха, что обусловило крайне низкие значения гидротермического коэффициента (ГТК до 0,0). Дефицит влаги в период цветения и формирования бобов существенно ограничивал рост и развитие растений, создавая жёсткий фон для оценки засухоустойчивости генотипов.

В 2024 г. влагообеспеченность отличалась выраженной неравномерностью: при значительном количестве осадков в мае и августе (до 106,6 мм) в июле отмечался острый дефицит влаги (ГТК = 0,17), совпадающий с фазой активного налива семян. Такие условия способствовали формированию высокой потенциальной биомассы, но одновременно усиливали стрессовое воздействие на продуктивность.

В 2025 г. погодные условия были относительно более сбалансированными: умеренный температурный режим и более равномерное распределение осадков обеспечили средний уровень влагообеспеченности посевов (средний ГТК около 0,8). Несмотря на отсутствие экстремальных засушливых периодов, сохранялся умеренный дефицит влаги, характерный для сухостепной зоны Северного Казахстана.

Таким образом, годы исследований охватывали широкий спектр гидротермических условий – от острой засухи до относительно благоприятного увлажнения, что позволило объективно оценить реакцию генотипов гороха на водный дефицит в критические фазы онтогенеза. Полученные данные подчёркивают целесообразность селекции на засухоустойчивость и стабильность урожайности в условиях климатической нестабильности региона.

Фенологическое развитие образцов гороха. Данные таблицы 2 отражают межгодовую динамику продолжительности основных фенологических фаз у образцов гороха различных морфотипов в условиях Северного Казахстана за 2023-2025 гг.

Продолжительность фенологических фаз у образцов гороха различных морфотипов

Генотип	Вегетационный период, суток от всходов до					
	Цветения			Созревания		
	2023 г	2024 г	2025 г	2023 г	2024 г	2025 г
Усатый морфотип						
КАСИБ, St.	39	30	34	71	77	79
Л-26/120	43	39	39	72	84	79
Зеленозерный 1	43	33	34	76	79	78
Л-27/01	42	29	34	72	75	82
Флагман 8	42	39	36	73	86	83
Шустрик	39	30	34	72	75	77
Pinochio	39	39	37	71	87	80
Девиз	35	32	34	70	75	80
Mino	41	34	35	72	77	81
Труженик	42	40	34	72	87	84
Л-33/01	35	32	32	71	79	72
Орлус	41	34	35	72	77	81
Б-57	40	33	33	72	75	77
СА и ОС, М ± m	40,1±0,7	34,2±1,1	34,7±0,5	72,0±0,4	79,5±1,3	79,5±0,9
КВ V, %	6,64	11,27	5,18	1,96	6,03	3,90
Листочковый морфотип						
Өріс, St.	42	34	36	73	81	80
УГ 92-1624	45	40	39	75	84	76
УГ 92-1352	43	33	33	73	73	73
Омский 7	45	32	36	76	76	71
Л-64/83	43	33	34	73	81	70
Л-47/02	42	33	32	73	79	71
Кп326/98	41	39	34	76	87	79
j.C.A/53/54	45	40	35	76	87	72
Норд	38	34	38	71	76	76
Таловец 50	41	40	37	72	88	79
Гаврош	42	41	38	72	88	82
СА и ОС, М ± m	42,5±0,6	36,3±1,1	35,6±0,7	73,6±0,5	81,8±1,6	75,4±1,3
КВ V, %	4,98	10,02	6,31	2,45	6,58	5,58

Установлено, что продолжительность вегетационного периода в значительной степени определялась гидротермическими условиями года и морфологическим типом растений.

В среднем усатые формы характеризовались более коротким периодом от всходов до цветения (40,1 суток в 2023 г., 34,2 суток в 2024 г. и 34,7 суток в 2025 г.) и меньшей межгодовой вариабельностью признака (КВ 5,18-11,27%). Наиболее раннеспелыми и стабильными по данному показателю были образцы Девиз и Л-33/01, тогда как у Л-26/120 и Труженик отмечалось относительное удлинение фазы до цветения. Продолжительность периода до созревания у усатых форм варьировала в пределах 72,0-79,5 суток при низком коэффициенте вариации (1,96-6,03%), что свидетельствует о высокой экологической пластичности данной группы.

Листочковые формы отличались более продолжительным периодом до цветения (42,5 суток в 2023 г., 36,3 суток в 2024 г. и 35,6 суток в 2025 г.) и несколько большей вариабельностью сроков наступления фенологических фаз. Более длительный вегетационный период отмечен у образцов УГ 92-1624, УГ 92-1352, Омский 7 и j.C.A/53/54. В целом листочковый морфотип проявлял более выраженную реакцию на колебания погодных

условий, что подтверждается повышенными значениями коэффициента вариации по сравнению с усатыми формами.

В результате усатые образцы в среднем созревали на 1–3 суток раньше и отличались большей стабильностью фенологического развития, что является важным адаптивным признаком в условиях ограниченной влагообеспеченности.

Морфологические признаки и архитектура растений. Анализ морфологических показателей (табл. 3) выявил отчётливые различия между морфотипами гороха по структуре растения и реакции на условия года.

Таблица 3

Морфологические признаки генотипов гороха

Генотип	Число междоузлий, шт						Высота, см					
	Всего			Продуктивных			Растения			Прикрепления нижнего боба		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Усатый морфотип листа												
КАСИБ, St.	10	11	10	3	4	3	39	98	63	30	50	48
Л-26/120	12	11	12	3	2	7	39	76	89	32	48	49
Зеленозерный 1	9	12	12	3	3	3	33	77	77	27	46	40
Л-27/01	10	10	10	2	5	5	26	96	84	21	65	59
Флагман 8	7	13	14	2	4	4	34	74	75	26	45	52
Шустрик	8	12	10	2	3	5	33	64	49	27	40	30
Pinochio	12	12	12	2	4	7	41	70	63	33	46	37
Девиз	12	12	10	2	4	3	39	78	60	34	46	44
Mino	11	13	10	3	5	4	34	86	87	26	46	54
Труженик	10	12	12	3	5	6	41	63	65	34	46	29
Л-33/01	10	10	13	2	3	5	33	73	69	28	51	45
Орлус	12	16	14	2	3	4	39	51	59	33	32	36
Б-57	10	13	14	3	5	5	41	73	69	33	44	43
СА и ОС, M ± m	10,2 ±0,4	12,1 ±0,4	11,8 ±0,5	2,5 ±0,1	3,8 ±0,3	4,7 ±0,4	36,3 ±1,3	75,3 ±3,6	69,9 ±3,3	29,5 ±1,1	46,5 ±2,0	43,5 ±2,5
КВ V, %	15,5	12,8	13,9	21,1	25,7	29,4	12,4	17,1	17,1	13,7	15,7	20,8
Листочковый морфотип												
Орис, St.	10	12	14	3	3	5	39	82	81	30	47	44
Уг 92-1624	11	17	11	2	4	5	50	104	102	42	67	72
Уг 92-1352	10	13	10	3	4	4	34	87	73	25	47	46
Омский 7	10	16	11	2	5	6	45	99	87	36	53	51
Л-64/83	10	10	11	2	3	3	44	75	60	35	40	38
Л-47/02	10	14	8	2	4	3	33	86	64	27	55	48
Кп326/98	12	10	10	2	3	5	37	71	62	31	45	43
j.C.A/53/54	15	12	11	4	4	6	56	100	86	40	70	61
Норд	10	13	9	3	5	5	46	76	75	37	36	50
Таловец 50	9	12	11	2	6	5	36	79	81	30	52	50
Гаврош	11	13	12	3	5	6	39	91	64	31	78	40
СА и ОС, M ± m	10,7 ±0,5	12,9 ±0,7	10,7 ±0,5	2,5 ±0,2	4,2 ±0,3	4,8 ±0,3	41,7 ±2,2	86,4 ±3,3	75,9 ±3,9	33,1 ±1,6	53,6 ±3,9	49,4 ±2,9
КВ V, %	15,1	16,8	14,5	27,0	23,5	22,4	17,2	12,8	17,2	16,1	24,3	19,8

У усатых форм число междоузлий в среднем составляло 10,2-12,1 шт. при умеренной вариабельности (КВ 12,8-15,5%). Число продуктивных узлов отличалось большей

Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 1 (57) 2026 г. межгодовой изменчивостью (КВ 21,1-29,4%), увеличиваясь в годы с более благоприятными условиями увлажнения.

Высота растений усатого морфотипа варьировала от 36,3 см в 2023 г. до 75,3 см в 2024 г., что отражает чувствительность признака к водному режиму. При этом высота прикрепления нижнего боба оставалась относительно стабильной (29,5-46,5 см), что имеет важное значение для механизированной уборки.

Листочковые генотипы характеризовались более мощным ростом и, в среднем, более высоким числом междуузлий (до 12,9 шт. в 2024 г.), а также значительно большей высотой растений (41,7–86,4 см). Однако данные признаки сопровождались повышенной вариабельностью и большей зависимостью от условий года. Высота прикрепления нижнего боба у листочковых форм находилась в диапазоне 33,1-53,6 см, демонстрируя умеренную стабильность.

Таким образом, усатый морфотип отличается более компактной архитектурой и стабильными морфологическими характеристиками, тогда как листочковые формы обладают высоким потенциалом вегетативного роста, но в большей степени реагируют на изменение условий среды.

Элементы структуры урожая и продуктивность. Показатели элементов структуры урожая и массы 1000 зёрен (табл. 4) свидетельствуют о значительной дифференциации генотипов по способности формировать продуктивность в различные по условиям годы.

Таблица 4

Показатели элементов структуры урожая и массы 1000 зёрен

Образец	Число с растения, шт.						Масса, г					
	Бобов			Семян с растения			Семян с растения			1000 зёрен		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Усатый морфотип												
КАСИБ, St.	5	10	5	15	30	19	2,6	5,7	3,1	179,8	187,5	174,9
Л-26/120	7	6	13	15	23	54	3,2	4,5	8,6	231,7	195,2	198,12
Зеленозерный 1	5	5	3	13	16	14	2,9	3,0	3,6	225,2	183,5	225,6
Л-27/01	4	10	7	11	38	27	2,2	6,8	4,9	197,5	181,9	185,71
Флагман 8	4	10	4	8	38	16	1,9	8,1	3,3	233,0	216,0	210,13
Шустрик	4	9	6	9	25	20	1,9	4,8	4,7	210,0	196,3	239,8
Pinochio	5	10	7	14	40	29	3,2	7,0	6,1	231,7	172,3	214,69
Девиз	4	9	4	10	28	11	2,1	5,3	3,0	214,2	193,5	217,78
Mino	4	13	6	15	45	29	2,6	9,1	6,7	179,9	201,3	233,33
Труженик	5	10	8	16	27	35	2,8	5,2	5,3	172,5	195,1	185,64
Л-33/01	4	7	6	10	22	28	2,1	3,4	5,8	211,2	151,4	208,2
Орлус	4	5	8	13	18	35	1,8	3,6	5,9	178,3	204,5	180,1
Б-57	4	9	6	13	20	28	3,2	3,7	6,1	213,0	186,7	215,6
Листочковый морфотип												
Орис, St.	5	9	10	15	33	36	2,5	4,0	5,3	169,1	180,8	193,5
Уг 92-1624	3	7	5	8	32	26	1,7	5,7	4,9	220,3	175,8	189,15
Уг 92-1352	5	7	5	11	21	17	2,5	4,8	4,1	235,0	230,6	238,82
Омский 7	3	11	6	8	39	20	2,0	9,0	4,6	236,7	228,8	232,00
Л-64/83	3	6	5	9	23	21	1,9	4,1	3,9	204,2	178,9	185,2
Л-47/02	4	8	4	11	30	20	2,4	7,2	4,2	209,8	236,8	213,78
Кп326/98	4	4	5	12	10	19	2,7	2,3	5,3	231,2	227,0	234,04
j.C.A/53/54	7	8	6	23	28	22	4,4	4,5	4,4	195,3	162,9	194,2
Норд	5	9	8	17	34	30	2,1	3,6	3,9	170,5	185,5	181,6
Таловец 50	4	11	6	8	41	24	1,8	6,4	5,1	224,3	190,5	216,95
Гаврош	6	6	9	18	25	36	3,0	3,7	5,3	168,1	145,9	145,83

Число бобов с растения варьировало от 3 до 13 шт., а число семян – от 8 до 54 шт., что указывает на высокую пластичность данных признаков.

Среди усатых форм наибольшим числом семян с растения отличались Л-26/120 (до 54 шт.), Mino (до 45 шт.) и Pinochio (до 40 шт.), что отражает высокий потенциал индивидуальной продуктивности данных генотипов. В группе листочковых форм

повышенное число семян отмечено у образцов Омский 7, Таловец 50 и Гаврош, преимущественно в годы с более благоприятными условиями увлажнения.

Масса семян с растения характеризовалась высокой межгодовой изменчивостью и изменялась в пределах 1,7–9,1 г. У стандарта КАСИБ данный показатель составлял 2,6–5,7 г. Наиболее высокие значения массы семян с растения зафиксированы у Л-26/120, Мiно и Флагман 8 среди усатых форм, а также у j.C.A/53/54 и Гаврош среди листочковых генотипов.

Масса 1000 зёрен варьировала в более узких пределах (145,8–239,8 г), что указывает на более высокую генетическую обусловленность признака. Крупносемянностью отличались Флагман 8, Шустрик, Мiно и Б-57 среди усатых форм, а также Уг 92-1352, Омский 7 и Кп326/98 среди листочковых генотипов.

В целом, выявленные различия свидетельствуют о наличии в коллекции генотипов с различными стратегиями формирования урожайности, что создаёт предпосылки для целенаправленного подбора родительских форм при межсортной гибридизации и дальнейшего совершенствования сортов гороха, адаптированных к условиям сухостепной зоны.

Оценка генотипов гороха по индексам засухоустойчивости. Анализ значений индексов засухоустойчивости и продуктивности (табл. 5) позволил выявить существенные различия между генотипами гороха, а также особенности реакции усатого и листочкового морфотипов на условия водного дефицита и оптимального увлажнения.

Таблица 5

Значения ключевых показателей сортов и линий гороха, сгруппированных по морфотипу листа

Генотип	Y _s , г/м ²	Y _p , г/м ²	STI	TOL	MP	GMP	HM	SSI	K1SYI	K2SY
Усатый морфотип листа										
КАСИБ, St.	208,7	336,7	0,7	128,0	272,7	265,1	257,7	1,0	1,1	1,0
Л-26/120	259,5	407,8	1,0	148,3	333,7	325,3	317,2	0,9	1,3	1,2
Зеленозерный 1	230,6	261,1	0,6	30,5	245,9	245,4	244,9	0,3	1,2	0,8
Л-27/01	173,8	305,6	0,5	131,8	239,7	230,5	221,6	1,1	0,9	0,9
Флагман 8	149,1	316,1	0,5	167,0	232,6	217,1	202,6	1,3	0,8	1,0
Шустрик	147,8	310,0	0,4	162,2	228,9	214,1	200,2	1,3	0,7	0,9
Pinochio	255,8	348,9	0,9	93,1	302,4	298,8	295,2	0,7	1,3	1,1
Девиз	164,5	365,6	0,6	201,1	265,1	245,2	226,9	1,4	0,8	1,1
Mino	210,1	256,1	0,5	46,0	233,1	232,0	230,8	0,5	1,1	0,8
Труженик	223,5	385,0	0,8	161,5	304,3	293,3	282,8	1,1	1,1	1,2
Л-33/01	165,6	292,8	0,5	127,2	229,2	220,2	211,6	1,1	0,8	0,9
Орлус	146,1	395,6	0,6	249,5	270,9	240,4	213,4	1,6	0,7	1,2
Б-57	256,6	318,9	0,8	62,3	287,8	286,1	284,4	0,5	1,3	1,0
Листочковый морфотип										
Opic, St.	202,9	326,8	0,5	123,9	264,9	257,5	250,4	1,4	1,0	0,9
Уг 92-1624	137,4	333,3	0,4	195,9	235,4	214,0	194,6	2,1	0,7	0,9
Уг 92-1352	203,0	372,8	0,6	169,8	287,9	275,1	262,9	1,6	1,0	1,0
Омский 3	160,2	433,9	0,5	273,7	297,1	263,7	234,0	2,3	0,8	1,2
Л-64/83	154,2	456,7	0,5	302,5	305,5	265,4	230,6	2,4	0,8	1,3
Л-47/02	191,4	357,8	0,5	166,4	274,6	261,7	249,4	1,7	1,0	1,0
Кп326/98	214,6	317,2	0,5	102,6	265,9	260,9	256,0	1,2	1,1	0,9
j.C.A/53/54	323,1	337,8	0,8	14,7	330,5	330,4	330,3	0,2	1,7	0,9
Норд	163,8	331,1	0,4	167,3	247,5	232,9	219,2	1,8	0,8	0,9
Таловец 50	143,5	366,7	0,4	223,2	255,1	229,4	206,3	2,2	0,7	1,0
Гаврош	236,6	328,9	0,6	92,3	282,8	279,0	275,2	1,0	1,2	0,9

В группе усатого морфотипа наиболее высокими значениями урожайности как в стрессовых (Ys), так и в благоприятных условиях (Yp) характеризовался генотип Л-26/120 (259,5 и 407,8 г/м² соответственно), что обусловило его лидирующие показатели STI (1,028), MP, GMP и НМ. Это свидетельствует о способности данного генотипа сочетать высокий продуктивный потенциал с устойчивостью к засухе. Сходные характеристики отмечены у сортов Pinocchio и Труженик, для которых также зафиксированы повышенные значения STI (0,867–0,836) и сравнительно низкие показатели индексов стрессочувствительности (SSI).

Генотипы Б-57 и Зеленозёрный 1 демонстрировали умеренную устойчивость к стрессу, характеризуясь относительно сбалансированным соотношением Ys и Yp при средних значениях STI. В то же время у образцов Флагман 8, Шустрик и Л-33/01 отмечены повышенные значения TOL и SSI, что указывает на значительные потери урожайности в условиях засухи и ограничивает их использование в качестве источников устойчивости.

Среди листочковых форм наибольший интерес представляет генотип j.C.A/53/54, обладающий высокими и близкими значениями урожайности в стрессовых и благоприятных условиях (Ys = 323,1; Yp = 337,8 г/м²). Это обусловило максимальные значения интегральных показателей MP, GMP и НМ при крайне низком индексе SSI (0,16), что свидетельствует о высокой стабильности продуктивности и минимальной чувствительности к водному дефициту. Данный генотип может рассматриваться как уникальный источник сочетания высокой урожайности и засухоустойчивости.

Другие листочковые образцы (Омский 7, Л-64/83, Таловец 50) отличались высоким потенциалом урожайности в благоприятных условиях (Yp до 456,7 г/м²), однако их урожайность в стрессовых условиях была существенно ниже, что сопровождалось повышенными значениями TOL и SSI (>2,0). Это указывает на их адаптацию преимущественно к оптимальному водному режиму и высокую чувствительность к засухе.

Анализ коэффициентов K1SYI и K2SYI подтвердил выявленные закономерности. Наиболее высокие значения K1SYI (>1,2), отражающие селекционную ценность в стрессовых условиях, отмечены у генотипов Л-26/120, Pinocchio, Труженик и j.C.A/53/54. В то же время у стрессочувствительных форм значения данного показателя были ниже 1,0, что снижает их перспективность для селекции на адаптивность.

В целом результаты анализа таблицы 5 свидетельствуют о чёткой дифференциации генотипов гороха по стратегиям адаптации. Усатый морфотип в среднем характеризуется более сбалансированным сочетанием урожайности и устойчивости к стрессу, тогда как листочковый морфотип включает как высокопродуктивные, но стрессочувствительные формы, так и отдельные генотипы с высокой стабильностью продуктивности. Выделенные образцы Л-26/120, Pinocchio, Труженик и j.C.A/53/54 рекомендуются использовать в качестве перспективного исходного материала при создании сортов гороха, адаптированных к условиям засушливых регионов.

Корреляционные связи показателей продуктивности и индексов засухоустойчивости у генотипов гороха. Анализ корреляционной матрицы (табл. 6) выявил тесные взаимосвязи между урожайностью в стрессовых условиях и интегральными индексами засухоустойчивости у генотипов гороха усатого морфотипа.

Таблица 6

Матрица корреляции усатых генотипов гороха

	Yp	STI	TOL	MP	GMP	HM	SSI	K1SYI	K2SYI
Ys	0,096	0,843**	-0,630*	0,709**	0,850**	0,929**	-0,781**	1,000**	0,075
Yp	1	0,607*	0,712**	0,770**	0,602*	0,444	0,529	0,092	1,000**
STI		1	-0,121	0,971**	0,998**	0,980**	-0,327	0,841**	0,590*
TOL			1	0,100	-0,130	-0,309	0,964**	-0,634*	0,726**
MP				1	0,972**	0,910**	-0,126	0,706**	0,756**
GMP					1	0,982**	-0,340	0,848**	0,585*
HM						1	-0,498	0,928**	0,425
SSI							1	-0,783**	0,546
K1SYI								1	0,071

** . Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

* . Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

Установлено, что урожайность в условиях водного дефицита (Y_s) имеет выраженную положительную корреляцию с индексами GMP ($r = 0,850$; $p < 0,01$), HM ($r = 0,929$; $p < 0,01$), STI ($r = 0,843$; $p < 0,01$) и MP ($r = 0,709$; $p < 0,01$). Это свидетельствует о высокой информативности данных показателей при оценке способности генотипов поддерживать продуктивность в неблагоприятных условиях.

Отрицательные корреляционные связи Y_s с индексами TOL ($r = -0,630$; $p < 0,05$) и SSI ($r = -0,781$; $p < 0,01$) указывают на то, что увеличение потерь урожайности при засухе сопровождается снижением адаптивного потенциала генотипов. Таким образом, данные индексы целесообразно использовать для выявления стрессочувствительных форм и их исключения из дальнейшей селекционной работы.

Урожайность в благоприятных условиях (Y_p) демонстрировала положительную связь с индексами MP, GMP и STI, однако сила корреляций была ниже по сравнению со стрессовыми условиями. Это подчёркивает, что для усатых форм определяющим фактором селекционной ценности является не максимальный потенциал урожайности, а способность сохранять продуктивность при водном дефиците.

Высокая степень согласованности между индексами GMP, HM и STI ($r > 0,97$) свидетельствует об их комплексном характере и отражает схожесть информации, содержащейся в данных показателях. Это позволяет использовать данные индексы как надёжные интегральные критерии отбора генотипов гороха усатого морфотипа на засухоустойчивость и стабильную продуктивность.

В целом результаты корреляционного анализа подтверждают, что для селекции гороха усатого морфотипа в условиях засушливых регионов наибольшую практическую значимость имеют индексы GMP, HM и STI, тогда как индексы TOL и SSI целесообразно использовать в качестве дополнительных критериев для оценки стрессочувствительности генотипов.

Корреляционный анализ показателей продуктивности и индексов засухоустойчивости у листовых генотипов гороха (табл. 7) выявил иную структуру взаимосвязей по сравнению с усатым морфотипом, что отражает особенности их реакции на условия водного дефицита.

Таблица 7

Матрица корреляции листовых генотипов гороха

	Y_p	STI	TOL	MP	GMP	HM	SSI	K1SYI	K2SY
Y_s	-0,391	0,912**	-0,861**	0,644*	0,897**	0,976**	-0,964**	1,000**	-0,396
Y_p	1	0,020	0,805**	0,453	0,048	-0,215	0,615*	-0,382	1,000**
STI		1	-0,576	0,900**	0,997**	0,965**	-0,771**	0,915**	0,014
TOL			1	-0,164	-0,552	0,748**	0,962**	-0,855**	0,808**
MP				1	0,909**	0,766**	-0,423	0,651*	0,448
GMP					1	0,964**	-0,752**	0,901**	0,041
HM						1	-0,892**	0,976**	-0,223
SSI							1	-0,962**	0,619*
K1SYI								1	-0,386

** . Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).
 * . Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

Урожайность в стрессовых условиях (Y_s) характеризовалась тесной положительной корреляцией с индексами STI ($r = 0,912$; $p < 0,01$), GMP ($r = 0,897$; $p < 0,01$) и особенно с индексом HM ($r = 0,976$; $p < 0,01$), что подтверждает целесообразность их использования при селекционной оценке. Положительная связь Y_s с MP ($r = 0,644$; $p < 0,05$) также подтверждает значимость интегральных показателей средней урожайности при селекционной оценке.

В то же время выявлены выраженные отрицательные корреляции урожайности в стрессовых условиях с индексами TOL ($r = -0,861$; $p < 0,01$) и SSI ($r = -0,964$; $p < 0,01$), что свидетельствует о высокой чувствительности части листовых генотипов к водному дефициту и значительных потерях урожайности в неблагоприятных условиях.

Урожайность в благоприятных условиях (Y_p) демонстрировала положительную связь с индексами TOL ($r = 0,805$; $p < 0,01$) и SSI ($r = 0,615$; $p < 0,05$), что указывает на тенденцию формирования высокого потенциала урожайности за счёт увеличения разрыва между оптимальными и стрессовыми условиями. При этом слабая или отсутствующая корреляция Y_p с индексами GMP, НМ и STI свидетельствует о том, что высокий уровень потенциальной урожайности не всегда сопровождается высокой адаптивностью листочковых форм.

Высокие коэффициенты корреляции между индексами STI, GMP и НМ ($r > 0,96$) подтверждают их согласованность и возможность использования в качестве комплексных критериев оценки устойчивости и стабильности продуктивности. Индекс K1SYI демонстрировал тесную положительную связь с урожайностью в стрессовых условиях ($r = 1,000$; $p < 0,01$), что позволяет рассматривать его как информативный показатель прямого отбора на засухоустойчивость.

Таким образом, для листочковых генотипов гороха наиболее надёжными индикаторами засухоустойчивости и стабильной продуктивности являются индексы НМ, GMP и STI, тогда как индексы TOL и SSI целесообразно использовать для выявления стрессочувствительных форм. Полученные результаты подчёркивают необходимость комплексного подхода при селекционной оценке листочковых морфотипов гороха в условиях дефицита влаги.

Заключение

В условиях сухостепной зоны Северного Казахстана установлено, что формирование продуктивности гороха в значительной степени определяется дефицитом влаги в критические фазы онтогенеза и морфологическими особенностями генотипов. Усатый морфотип в целом характеризуется более стабильным прохождением фенологических фаз и меньшей межгодовой вариабельностью признаков, что обеспечивает его преимущество в условиях засухи. Листочковые формы обладают более высоким потенциалом продуктивности в благоприятные годы, однако проявляют повышенную чувствительность к водному дефициту. Интегральные индексы засухоустойчивости НМ, GMP и STI показали высокую информативность и тесную связь с урожайностью в стрессовых условиях, что подтверждает целесообразность их использования в селекционной практике. Корреляционный анализ выявил различия в стратегии адаптации между морфотипами гороха, отражающие особенности их реакции на условия увлажнения. По совокупности показателей продуктивности и устойчивости к засухе выделены генотипы Л-26/120, Труженик, Pinocchio и j.C.A/53/54. Указанные образцы могут быть рекомендованы в качестве перспективного исходного материала для селекции сортов гороха, адаптированных к условиям сухостепной зоны Северного Казахстана.

Финансирование: Работа выполнена в рамках Программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе 267, BR - 22885414 «Создание и внедрение в производство высокопродуктивных сортов зернобобовых культур на основе методов современной биологии, разработка их сортовой технологии и первичного семеноводства».

Литература

1. Erokhin V., Gao T. Impacts of COVID-19 on trade and economic aspects of food security: Evidence from 45 developing countries. // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 16. – P. 5775.
2. Joshi P.K., Rao P.P. Global and regional pulse economies: Current trends and outlook [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://ssrn.com/abstract=2813381> (дата обращения: 15.01.2026).
3. Браилова И.С., Филатова И.А., Юрьева Н.И., Белоусова Ю.В. Оценка перспективных сортообразцов гороха по качеству и взаимосвязь биохимических показателей с урожайностью и массой 1000 зерен. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2020. – № 3 (35). – С. 20-25.
4. Ержебаева Р.С., Дидоренко С.В., Кудайбергенов М.С., Даниярова А.К., Амангелдиева А.А. Поиск источников засухоустойчивости среди новой коллекции сои (*Glycine max*) в условиях юго-востока Казахстана. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2019. – № 3 (31). – С. 63-73.
5. Ошергина И.П., Тен Е.А. Анализ взаимосвязи климатических условий и продуктивности гороха различных морфологических типов. // *Аграрная Россия*. – 2025. – № 3. – С. 33-38.

6. Smýkal P., Vernoud V., Blair M.W., Soukup A., Thompson R.D. The role of phytohormones in pea seed development. // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – Vol. 11. – P. 1232.
7. Molina C., Rotter B., Horres R. и др. SuperSAGE: the drought stress responsive transcriptome of chickpea roots. // *BMC Genomics*. – 2008. – Vol. 9. – P. 553.
8. Вишнякова М.А. и др. Коллекция мировых генетических ресурсов зернобобовых ВИР: пополнение, сохранение, изучение. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВИР, - 2018. – 145 с.
9. Al-Ashkar I. Multivariate analysis techniques and tolerance indices for detecting bread wheat genotypes of drought tolerance. // *Diversity*. – 2024. – 16:489. <https://doi.org/10.3390/d16080489>
10. Li L., Wang X., Zhang H., et al. Joint transcriptome and metabolome-based analysis of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. 2025. – 15(4):922.
11. Wen P., et al. Field identification of drought tolerant wheat genotypes using canopy vegetation indices instead of plant physiological and biochemical traits, *Ecological Indicators. Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2023. – 154: 110781. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110781>
12. Yavas I., Kaya M.D., Akcay U.C. Evaluation of three soybean genotypes under drought stress in field conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2024. – 33(3):2461–2471. <https://doi.org/10.15244/pjoes/191005>
13. Wang Z, Lai X, Wang C, Yang H, Liu Z, Fan Z, Li J, Zhang H, Liu M, Zhang Y. Exploring the Drought Tolerant Quantitative Trait Loci in Spring Wheat. *Plants*. 2024. – 13(6):898. <https://doi.org/10.3390/plants13060898>
14. Farshadfar E., Sutka J. Screening drought tolerance criteria in maize. // *Acta Agronomica Hungarica*. – 2002. – Vol. 50. – P. 411–416.

References

1. Erokhin V., Gao T. Impacts of COVID-19 on trade and economic aspects of food security: Evidence from 45 developing countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, no.17(16), p.5775. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165775>
2. Joshi P.K., Rao P.P. Global and regional pulse economies: Current trends and outlook. *SSRN Electronic Journal*. 2016. Available at: <https://ssrn.com/abstract=2813381>
3. Brailova I.S., Filatova I.A., Yurieva N.I., Belousova Yu.V. Evaluation of promising pea breeding lines by quality traits and relationships of biochemical parameters with yield and 1000-seed weight. *Zernobobovye i Krupyanye Kultury*, 2020, no.3, pp.20–25. (In Russian)
4. Yerzhebayeva R.S., Didorenko S.V., Kudaibergenov M.S., Daniyarova A.K., Amangeldiyeva A.A. Search for drought-tolerant sources among a new soybean (*Glycine max*) collection in south-eastern Kazakhstan. *Zernobobovye i Krupyanye Kultury*. 2019, no.3, pp. 63–73. (In Russian)
5. Oshergina I.P., Ten E.A. Analysis of relationships between climatic conditions and productivity of pea genotypes of different morphological types. *Agrarnaya Rossiya*. 2025, no.3, pp. 33–38. (In Russian)
6. Smýkal P., Vernoud V., Blair M.W., Soukup A., Thompson R.D. The role of phytohormones in pea seed development. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11:1232. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01232>
7. Molina C., Rotter B., Horres R., et al. SuperSAGE: The drought stress-responsive transcriptome of chickpea roots. *BMC Genomics*. 2008;9:553. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-9-553>
8. Vishnyakova M.A., et al. World collection of legume genetic resources of VIR: enrichment, conservation and evaluation. 2nd ed., Saint Petersburg: VIR; 2018, 145 p. (In Russian)
9. Al-Ashkar I. Multivariate Analysis Techniques and Tolerance Indices for Detecting Bread Wheat Genotypes of Drought Tolerance. *Diversity*. 2024; 16(8):489. <https://doi.org/10.3390/d16080489>
10. Li L., Wang X., Zhang H., et al. Joint transcriptome and metabolome-based analysis of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. 2025; 15(4):922.
11. Wen P., et al. Field identification of drought tolerant wheat genotypes using canopy vegetation indices instead of plant physiological and biochemical traits, *Ecological Indicators. Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2023; 154: 110781. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110781>
12. Yavas I., Kaya M.D., Akcay U.C. Evaluation of three soybean genotypes under drought stress in field conditions. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2024; 33(3):2461-2471. <https://doi.org/10.15244/pjoes/191005>
13. Wang Z, Lai X, Wang C, Yang H, Liu Z, Fan Z, Li J, Zhang H, Liu M, Zhang Y. Exploring the Drought Tolerant Quantitative Trait Loci in Spring Wheat. *Plants*. 2024; 13(6):898. <https://doi.org/10.3390/plants13060898>
14. Farshadfar E., Sutka J. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica*. 2002; 50:411-416.