

**Елена Викторовна Власова**

Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, заведующая лабораторией полевых культур, кандидат биологических наук, Москва, Россия  
stevlas@yandex.ru

**Иван Михайлович Куликов**

Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, директор, доктор экономических наук, академик РАН, Москва, Россия  
vstisp@vstisp.org

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ  
У СОРТОВ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО**

Цель исследования – у сортов люпина узколистного, диаметрально противоположных по типу ветвления, оценить степени изменчивости семенной продуктивности и ее элементов по годам в контрастных метеорологических условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ. Были проведены многолетние полевые испытания (2009–2020 гг) сортов люпина узколистного колосовидного (Ладный, Дикаф 14) и индетерминантного (Немчиновский 846, Белозёрный 110) типов в контрастных метеорологических условиях Московской области. Степень рассеивания многолетних данных семенной продуктивности и ее элементов оценивали по стандартному отклонению  $\sigma$ , дисперсии  $S^2$ , коэффициенту вариации CV, параметрам регрессии (индексу среды  $I$ , наклону регрессии  $b_i$ , отклонению от регрессии  $s^2d$ ), коэффициентам эквивалентности  $W_i$ , фенотипической стабильности  $S^2$ , адаптивности  $K_{ад}$ , комплексному показателю уровня продуктивности и стабильности сорта ПУСС. В среднем за 12 лет вес семян с растений индетерминантных сортов был в 2 раза больше, чем с колосовидных. В основном такие различия были обусловлены в 3 раза большим числом бобов на боковых ветвях у индетерминантных сортов. Степень колеблемости числа семян в бобе и веса 1000 семян – от незначительной до средней (CV = 7–11 % и CV = 12–20 % соответственно), числа бобов на главном стебле – значительная (CV = 22–26 %). Очень высокая вариабельность (CV выше 30 %) по числу бобов на боковых ветвях и весу семян с растения свидетельствует о неоднородности, многокомпонентности показателей. Индетерминантные сорта характеризовались большей устойчивостью показателей веса 1000 семян, числа семян в бобе, числа бобов на один боковой побег по сравнению с колосовидными. По показателям  $b_i$ ,  $K_{ад}$ , ПУСС индетерминантные сорта в плане семенной продуктивности характеризовались лучшей адаптивностью и пластичностью по сравнению с колосовидными. Сорт Дикаф 14 превосходил остальные сорта по показателям стабильности  $s^2d$  и  $W_i$ , что свидетельствует о возможности селекции колосовидных форм на стабильность семенной продуктивности.

**Ключевые слова:** люпин узколистный, индетерминантный, колосовидный, эпигональный, элементы семенной продуктивности, адаптивность, пластичность, стабильность.

**Elena V. Vlasova**

Federal Scientific Selection and Technology Center for Horticulture and Nursery, Head of the Field Crops Laboratory, Candidate of Biological Sciences, Moscow, Russia  
stevlas@yandex.ru

**Ivan M. Kulikov**

Federal Scientific Selection and Technology Center for Horticulture and Nursery, Director, Doctor of Economics, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
vstisp@vstisp.org

## ANALYSIS OF VARIABILITY OF SEED PRODUCTIVITY IN NARROW-LEAVED LUPINE CULTIVARS

*The aim of the study is to assess the degree of variability of seed productivity and its elements by years in contrasting meteorological conditions of the Central Region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation in the varieties of narrow-leaved lupine, diametrically opposite in the type of branching. Long-term field trials (2009–2020) were carried out of varieties of narrow-leaved spike lupine (Ladny, Dikaf 14) and indeterminate (Nemchinovsky 846, Belozerny 110) types in contrasting meteorological conditions of the Moscow Region. The degree of dispersion of long-term data on seed productivity and its elements was assessed by the standard deviation  $\sigma$ , dispersion  $S^2$ , coefficient of variation CV, regression parameters (medium index  $I$ , regression slope  $b_i$ , deviation from regression  $s^2d$ ), coefficients of ecovalence  $W_i$ , phenotypic stability  $S^2$ , adaptability  $Kad$ , a complex indicator of the level of productivity and stability of the PUSS variety. On average, over 12 years, the weight of seeds from plants of indeterminate varieties was 2 times higher than from spike-like varieties. Basically, such differences were due to the 3 times greater number of beans on lateral branches in indeterminate varieties. The degree of variability of the number of seeds in a pod and the weight of 1000 seeds is from insignificant to medium (CV = 7–11 % and CV = 12–20 %, respectively), the number of beans on the main stem is significant (CV = 22–26 %). A very high variability (CV above 30 %) in the number of beans on lateral branches and the weight of seeds per plant indicates the heterogeneity and multicomponent character of the indicators. Indeterminate varieties were characterized by greater resistance to the weight of 1000 seeds, the number of seeds in a pod, and the number of beans per side shoot as compared to spike-like varieties. In terms of  $b_i$ ,  $Kad$ , PUSS indices, the indeterminate varieties in terms of seed productivity were characterized by better adaptability and plasticity compared to spike-like varieties. Variety Dikaf 14 surpassed other varieties in terms of stability  $s^2d$  and  $W_i$ , which indicates the possibility of breeding spike-shaped forms for stability of seed productivity.*

**Keywords:** narrow-leaved lupine, indeterminate, spike-shaped, epigonal, elements of seed productivity, adaptability, plasticity, stability.

**Введение.** Среди зернобобовых культур люпин узколистный занимает особое место. Это универсальная и динамично развивающаяся кормовая культура, обладающая высоким ресурсосберегающим и средообразующим потенциалом. Неуклонное совершенствование сортового состава и технологии возделывания должно способствовать увеличению площадей посевов люпина узколистного [1]. Но расширению ареала возделывания этой культуры препятствует нестабильность урожая семян по годам, обусловленная сортавыми особенностями формирования адаптивных реакций к стрессовым факторам [2]. Высокая вариабельность урожайности у сортов с обычным ветвлением (индетерминантного типа) связана с продолжительным вегетативным ростом, уровень развития которого зависит от погодных условий на протяжении вегетационного периода [3]. Поэтому использование сортов с редуцированным ветвлением считается эффективным средством решения проблемы нестабильности семенной продуктивности. Однако крайняя степень детерминации ветвления накладывает ограничения на размер потенциальной продуктивности сортов [4]. Кроме того,

существует мнение о том, что детерминантные сорта люпина узколистного обладают повышенной чувствительностью к водному дефициту и высоким температурам воздуха [5].

**Цель и задачи исследования:** у сортов люпина узколистного диаметрально противоположных по типу ветвления: колосовидного типа (Ладный, Дикаф 14) и индетерминантного (Немчиновский 846, Белозерный 110) типа, – оценить степени изменчивости семенной продуктивности и ее элементов по годам в контрастных метеорологических условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ.

**Материалы и методы исследования.** опыты проводили в 2009–2020 гг. в условиях юга Московской области, на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах, в полевом севообороте с использованием традиционных агротехнических мероприятий по методике ВИР. Сроки посева сортов определялись метеорологическими условиями и физической зрелостью почвы. Семена высевали рядовым способом на делянках 2 м<sup>2</sup>, в двукратной повторности. Норма высева – 100 семян/м<sup>2</sup>. Уборку осуществляли вручную. Перед уборкой с каждой делянки

отбирали по 10 растений для проведения структурного анализа по элементам семенной продуктивности.

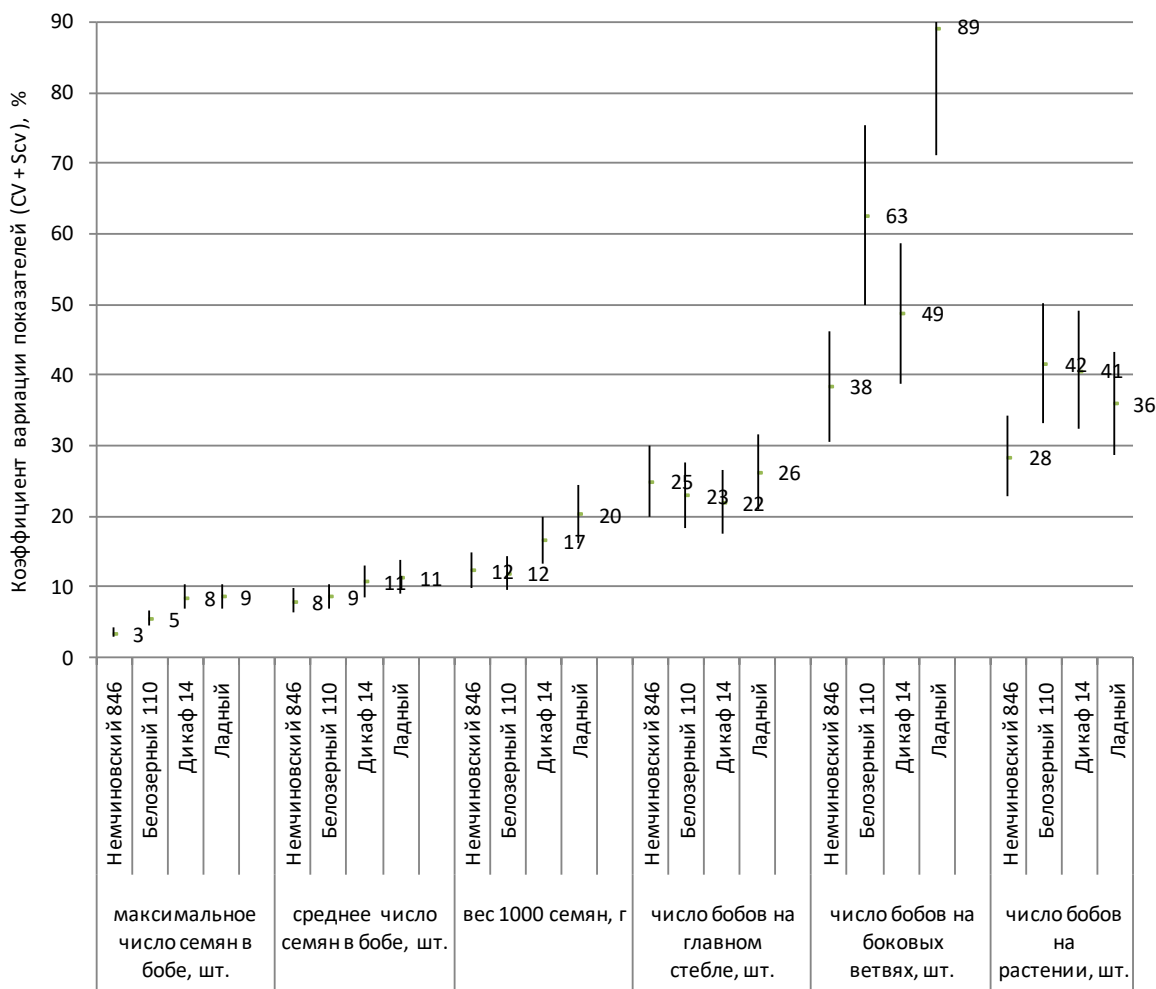
Степень рассеивания многолетних данных семенной продуктивности и ее элементов оценивали по среднему арифметическому ( $X_{ср.}$ ), стандартному отклонению ( $\sigma$ ), коэффициенту вариации ( $CV$ , %) и ошибке коэффициента вариации ( $Scv$ ). Достоверность различий между сортами по семенной продуктивности оценивали по результатам однофакторного (в отдельные годы) и двухфакторного (фактор а – сорт, фактор b – год) дисперсионного анализа при 95 % уровне значимости. Для оценки эффекта взаимодействия «генотип – среда» по семенной продуктивности использовали также параметры регрессии Eberhart, Russel (1966) (индекс среды I, коэффициент пластичности  $b_i$  и стабильности  $s^2d$ ) [6], коэффициенты фенотипической стабильности  $S^2$  по Roemer (1917) и эквалентности  $W$  по Wricke (1964) [7], коэффи-

циент адаптивности Кад. [8], комплексный показатель уровня продуктивности и стабильности сорта ПУСС – по методике Неттевича и др. (1985) [9].

### Результаты исследования и их обсуждение

#### 1. Вариабельность элементов семенной продуктивности по годам

Показатели веса 1000 семян в среднем за годы наблюдений у изучаемых сортов были в пределах 120–135 г ( $НСР_{05} = 8,9$ ). Варьирование по годам признака «вес 1000 семян» среднее: у индетерминантных сортов ( $CV = 11,9 \pm 2,4 \dots 12,3 \pm 2,5$  %) меньше, чем у колосовидных ( $CV = 16,6 \pm 3,4 \dots 20,3 \pm 4,1$  %) (рис.). Повышенная вариабельность по годам веса 1000 семян у колосовидных сортов Дикаф 14 и Ладный была обусловлена более высокими значениями стандартного отклонения ( $\sigma = 22,4 \pm 4,6$  и  $\sigma = 25,1 \pm 5,1$ ) по сравнению с индетерминантными сортами Немчиновский 846 ( $\sigma = 16,2 \pm 3,3$ ) и Белозерный 110 ( $\sigma = 14,4 \pm 2,9$ ).



Коэффициенты вариации элементов семенной продуктивности у сортов люпина узколистного ( $CV+Scv$ ), %

Все четыре сорта генетически лимитированы формированием не более шести семян в бобе. В среднем по растению выполненность бобов составляла от 3,0 (Ладный) до 3,8 шт. (Белозерный 110) ( $HC_{P05} = 0,59$ ). Вариабельность по годам признака «максимальное число семян в бобе» у индетерминантных сортов ( $CV = 3,4 \pm 0,7 \dots 5,5 \pm 1,1$  %) меньше, чем у колосовидных ( $CV = 8,5 \pm 1,7 \dots 8,6 \pm 1,8$  %). По признаку «среднее число семян в бобе» у индетерминантных сортов изменчивость незначительная ( $CV = 8,0 \pm 1,6 \dots 8,6 \pm 1,8$  %), у колосовидных – средняя ( $CV = 10,7 \pm 2,2 \dots 11,3 \pm 2,3$  %). Различия между сортами по величине стандартного отклонения и дисперсии не выходили за пределы ошибки.

В среднем за 12 лет существенные различия между сортами по числу бобов на главном стебле отсутствовали (7,7–7,9 шт. – у индетерминантных сортов; 8,5–9,8 шт. – у колосовидных,  $HC_{P05} = 2,16$ ). Отсутствовали достоверные различия по величине стандартного отклонения. Независимо от типа ветвления отмечена значительная вариабельность признака по годам ( $CV = 22 \pm 4,5 \dots 26 \pm 5,4$  %).

На боковых ветвях у индетерминантных сортов (10,0–10,3 шт.) формировалось в 3 раза больше бобов по сравнению с колосовидными (3,3 шт.,  $HC_{P05} = 2,90$ ). Значения стандартного отклонения у индетерминантных сортов ( $\sigma = 4,0 \pm 0,8 \dots 6,2 \pm 1,3$ ) были выше, чем у колосовидных ( $\sigma = 1,6 \pm 0,3 \dots 2,9 \pm 0,6$ ). Крайне высокая изменчивость показателя «число бобов на боковых ветвях» ( $CV = 38,4 \pm 7,8 \dots 89,4 \pm 18,2$  %) свидетельствовали о неоднородности выборки, обусловленной варьированием числа боковых побегов ( $CV = 28,1 \pm 5,7 \dots 87,7 \pm 17,9$  %) и числа бобов на один боковой побег. Значения CV по числу бобов на боковых ветвях и числу боковых побегов не зависели от типа ветвления. А по числу бобов на один боковой побег у колосовидных сортов значения коэффициента вариации ( $CV = 38,3 \pm 7,8 \dots 7,1 \pm 15,7$  %) и стандартного

отклонения ( $\sigma = 0,7 \pm 0,13 \dots 2,0 \pm 0,4$ ) выше, чем у индетерминантных ( $CV = 19,2 \pm 3,9 \dots 20,8 \pm 4,2$  %;  $\sigma = 0,43 \pm 0,1 \dots 0,45 \pm 0,1$ ).

В среднем за 12 лет наблюдений семенная продуктивность сортов с обычным ветвлением (8,0–8,1 г с растения) была выше показателей колосовидных (3,9–4,9 г) в 2 раза ( $HC_{P05} = 1,04$ ) (табл. 1). Поэтому, несмотря на то, что колосовидные сорта показывали меньшие значения стандартного отклонения ( $\sigma = 1,7$ –1,8) и дисперсии ( $S^2 = 2,8$ –3,2) по сравнению с индетерминантными ( $\sigma = 2,6$ –3,8;  $S^2 = 6,9$ –14,1), они не демонстрировали меньших значений коэффициента вариации (табл. 1). Крайне высокие значения коэффициентов вариации как колосовидных, так и индетерминантных сортов ( $CV = 32,4 \pm 6,6 \dots 46,9 \pm 9,6$  %) были обусловлены многокомпонентностью семенной продуктивности.

## **2. Характеристика сортов по адаптивности семенной продуктивности**

Наиболее благоприятными для формирования семенной продуктивности были условия 2009, 2015, 2017 гг. (индекс среды  $I = 2,3$ –3,2) (см. табл. 1). Вес семян с растения в эти годы у индетерминантных сортов был в пределах 10,0–16,5 г, а лучшие показатели эпигональных сортов не превышали 7,4–8,1 г с растения. На среднем уровне ( $I = 0,2$ –0,5) были показатели в 2012, 2018, 2019, 2020 гг. У сортов с обычным габитусом получали 6,5–8,8 г семян с растения, а у колосовидных сортов – не более 5,2–6,4 г. Худшими были показатели в 2010, 2011, 2013, 2014, 2016 гг. ( $I = -2,8 \dots -1,1$ ), когда в большинстве случаев семенная продуктивность растений индетерминантных сортов была в пределах 3,1–6,0 г, колосовидных – 1,9–3,8 г. Но следует учитывать, что значения семенной продуктивности индетерминантных сортов в 2013, 2015, 2017, 2019, 2020 гг. оказались завышенными, поскольку их получили только благодаря ручной уборке и дозариванию растений.

Изменчивость семенной продуктивности по годам у сортов люпина узколистного (2009–2020 гг.)

Год	Вес семян с растения, г, у сортов					НСР <sub>05</sub>	Индекс условий I
	Немчиновский 846	Белозерный 110	Дикаф 14	Ладный	Хср. по сортам		
2009	11,0	11,1	4,6	7,4	8,5	2,99	2,28
2010	7,8	6	2,6	2,1	4,6	2,45	-1,62
2011	5,9	4,3	3,3	1,9	3,9	1,44	-2,39
2012	7,5	8,3	5,3	5,0	6,5	1,35	0,28
2013	4,3	3,1	3,2	3,2	3,5	Fфакт. < F <sub>05</sub>	-2,79
2014	8,3	4,2	3,8	3,1	4,8	2,58	-1,39
2015	10,0	16,5	8,1	3,1	9,4	3,59	3,18
2016	4,4	7,4	3,0	5,6	5,1	1,86	-1,14
2017	13,6	11,7	7,4	2,6	8,8	3,04	2,58
2018	8,1	6,5	6,4	5,7	6,7	Fфакт. < F <sub>05</sub>	0,43
2019	8,4	8,8	5,8	3,5	6,6	1,73	0,38
2020	8,3	8,5	5,2	3,7	6,4	2,07	0,18
Хср. по годам	8,1	8,0	4,9	3,9	6,2	1,68	

Индетерминантные сорта характеризовались большей пластичностью ( $bi = 1,1-1,8$ ), адаптивностью (Кад. = 1,2–1,3), а также уровнем и стабильностью семенной продуктивности (ПУСС = 67 и 100 %) по сравнению с детерми-

нантными сортами ( $bi = 0,3-0,8$ ; Кад. = 0,7–0,8; ПУСС = 18–32 %) (табл. 2). По показателям стабильности на фоне остальных сортов выгодно выделялся колосовидный Дикаф 14 ( $s^2d = 0,9$ ;  $W_i = 11,1$ ).

Таблица 2

Показатели стабильности семенной продуктивности по годам у сортов люпина узколистного (2009–2020 гг.)

Сорт	$\sigma$	$S^2$	CV, %	$bi$	$s^2d$	$W_i$	ПУСС, %	Кад.
Немчиновский 846	2,6	6,9	32,3	1,1	2,3	23,4	100	1,32
Белозерный 110	3,8	14,1	46,8	1,8	2	46,6	67,3	1,24
Дикаф 14	1,8	3,2	36,7	0,8	0,9	11,1	31,8	0,78
Ладный	1,7	2,8	42,6	0,3	2,7	48,7	17,5	0,65

**Выводы.** Редуцированное ветвление не способствует стабилизации показателей элементов семенной продуктивности. Напротив, у индетерминантных сортов отмечены меньшие значения коэффициентов вариации и стандартного отклонения по таким признакам, как вес 1000 семян, число семян в бобе и число бобов на один боковой побег. Не установлено влияния типа ветвления на показатели CV по весу семян с растения, числу бобов на главном стебле и боковых ветвях и числу продуктивных ветвей. Менее продуктивные колосовидные сорта зако-

номерно уступают индетерминантным сортам по показателям пластичности  $bi$ , ПУСС и коэффициенту адаптивности Кад. Хотя стоит оговориться, что данные по семенной продуктивности индетерминантных сортов не учитывают сложности их уборки в отдельные годы, обусловленные вегетативным израстанием. И только по показателям стабильности  $s^2d$  и  $W_i$  на фоне остальных сортов выгодно выделялся колосовидный Дикаф 14.

## Список источников

## References

1. *Бопп В.Л., Данилов М.Е.* Люпин узколистный: влияние гербицидов и удобрений на продуктивность зеленой массы // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 73–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
2. *Агаркова С.Н., Головина Е.В., Беляева Р.В.* Формирование продуктивности сортами люпина узколистного в контрастных метеорологических условиях // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 1 (29) С. 31–37.
3. *Воронова З.П., Мурашев В.В.* Особенности морфогенеза некоторых форм *Lupinus angustifolius* L. III. Ветвление и побегообразование // Вестник Московского университета. Сер. 16. Биология. 2009. № 3. С. 44–50.
4. *Витко Г.И.* Оценка сортов узколистного люпина с ограниченным ветвлением // Вестник Белорусской ГСХА. 2019. № 2. С. 134–141.
5. *Podleśny J., Podleśna A.* Effect of rainfall amount and distribution on growth, development and yields of determinate and indeterminate cultivars of blue lupin // Polish Journal of Agronomy. 2011. № 4. P. 16–22.
6. *Пакудин В.З., Лопатина Л.М.* Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113.
7. *Balcha A.* Genotype by Environment Interaction for Grain Yield and Association among Stability Parameters in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). // Am. J. Plant Sci. 2020, № 11, P. 1–10. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
8. *Животков Л.А., Морозова З.А., Секутаева Л.И.* Методика выявления потенциальной продуктивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–7.
9. *Горбунова Ю.В., Власова Е.В.* Применение показателя ПУСС для оценки семенной продуктивности новых образцов вики посевной // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы V междунар. науч.-практ. конф.. Киров, 2019. С. 213–216.
1. *Bopp V.L., Danilov M.E.* Lyupin uzkolistnyj: vliyanie gerbicidev i udobrenij na produktivnost' zelenoj massy // Vestnik KrasGAU. 2020. № 5. S. 73–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-73-79.
2. *Agarkova S.N., Golovina E.V., Belyaeva R.V.* Formirovanie produktivnosti sortami lyupina uzkolistnogo v kontrastnyh meteorologicheskikh usloviyah // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2019. № 1 (29) S. 31–37.
3. *Voronova Z.P., Murashev V.V.* Osobennosti morfogeneza nekotoryh form *Lupinus angustifolius* L. III. Vetvlenie i pobegoobrazovanie // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 16. Biologiya. 2009. № 3. S. 44–50.
4. *Vitko G.I.* Ocenka sortov uzkolistnogo lyupina s ogranichennym vetvleniem // Vestnik Belorusskoj GSHA. 2019. № 2. C. 134–141.
5. *Podleśny J., Podleśna A.* Effect of rainfall amount and distribution on growth, development and yields of determinate and indeterminate cultivars of blue lupin // Polish Journal of Agronomy. 2011. № 4. P. 16–22.
6. *Pakudin V.Z., Lopatina L.M.* Ocenka `ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortov sel'skohozyajstvennyh kul'tur // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 1984. № 4. S. 109–113.
7. *Balcha A.* Genotype by Environment Interaction for Grain Yield and Association among Stability Parameters in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). // Am. J. Plant Sci. 2020, № 11, P. 1–10. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
8. *Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekutaeva L.I.* Metodika vyyavleniya potencial'noj produktivnosti sortov i selekcionnyh form ozimoy pshe-nicy po pokazatelyu «urozhajnost'» // Selekcija i semenovodstvo. 1994. № 2. S. 3–7.
9. *Gorbunova Yu.V., Vlasova E.V.* Primenenie pokazatelya PUSS dlya ocenki semennoj produktivnosti novyh obrazcov viki posevnoj // Metody i tehnologii v selekcii rastenij i rastenievodstve: mat-ly V mezhdunar. nauch.-prakt. konf.. Kirov, 2019. S. 213–216.