



## Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и их адаптивность к условиям Северо-Западного региона России

© 2022. И. А. Куземкин, Т. А. Рожмина ✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,  
Российская Федерация

В статье представлены результаты изучения 19 коллекционных образцов льна-долгунца в условиях Северо-Запада России (Тверская область). Исследования проводили в 2015–2017 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Наиболее благоприятные условия для формирования высоких урожаев льноволокна сложились в 2017 году ( $I_j = 0,52$ ), для льносемян – в 2015 г. ( $I_j = 0,07$ ). Сорта Тост 3, Атлант (Россия), Evea (Франция), Alizee, Merylin (Голландия) выделились по урожайности льноволокна: 1,65 (Атлант) ... 2,18 (Evea) т/га, что на 17,0...51,3 % больше стандартного сорта Альфа. Вариабельность данного признака у отечественных сортов Тост 3 и Атлант – средняя ( $CV = 22,58$  и  $33,31$  % соответственно), у сортов западноевропейской селекции Evea, Alizee, Merylin – высокая ( $CV = 35,02$ ... $41,70$  %). У сортов Merylin, Evea и Атлант также отмечена высокая урожайность льносемян 0,77...0,82 т/га при уровне вариабельности 21,31...28,58 %. Эти образцы существенно превосходили среднесортное значение по этому признаку – коэффициент адаптивности (КА) составил 1,10...1,25. По результатам комплексной оценки образцов льна-долгунца, включающей урожайность волокна и семян, стрессоустойчивость ( $Y_2 - Y_1$ ), генетическую гибкость и компенсаторную способность ( $Y_1 + Y_2/2$ ), стабильность (d), выделены сорта Тост 3, Атлант и Evea. Данные генотипы являются ценным исходным материалом в селекции льна-долгунца на адаптивность. Расширение посевных площадей под этими сортами в условиях Северо-Западного региона России будет способствовать решению проблемы сырьевого обеспечения страны.

**Ключевые слова:** *Linum usitatissimum* L., образец, волокно, семена, урожайность, стрессоустойчивость, пластичность, адаптивность

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2019-2016).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Куземкин И. А., Рожмина Т. А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(5):666–674. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674>

Поступила: 30.06.2022

Принята к публикации: 24.08.2022

Опубликована онлайн: 26.10.2022

## Screening of accessions from fiber flax collection by productivity and their adaptability to the conditions of the North-West region of Russia

© 2022. Ivan A. Kuzemkin, Tatiana A. Rozhmina ✉

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The article presents the results of evaluation of 19 collection accessions of fiber flax in the conditions of the North-West of Russia (Tver region). The experiments were carried out in 2015–2017 on soddy-podzolic light loamy soil. The most favorable conditions for the formation of high yields of flax fiber were formed in 2017 ( $I_j = 0,52$ ), for flax seeds – in 2015 ( $I_j = 0,07$ ). According to the flax fiber yield, such varieties as Tost 3, Atlant (Russia), Evea (France), Alizee, Merylin, (Holland) have been noted, their yield was in the range of 1.65 (Atlant) ... 2.18 (Evea) t/ha, which is 17.0...51.3 % higher than the standard Alfa variety. The variability of this trait in domestic varieties Tost 3 and Atlant is average ( $CV = 22.58$  and  $33.31$  %, respectively). The varieties of West European breeding Evea, Alizee, Merylin have high variability ( $CV = 35.02$ ... $41.70$  %). Varieties Merylin, Evea and Atlant also showed a high yield of flax seeds 0.77...0.82 t/ha with the variability level of 21.31...28.58 %. These genotypes significantly exceeded the average value for this trait – coefficient of adaptability (CA) was 1.10...1.25. According to the results of a comprehensive assessment of fiber flax accessions, including the yield of fiber and seeds, as well as their adaptive properties - stress resistance ( $Y_2 - Y_1$ ), genetic flexibility and compensatory ability ( $Y_1 + Y_2/2$ ), stability (d), the highest indicators were shown by the varieties Tost 3, Atlant and Evea. These genotypes are a valuable source material in fiber flax breeding for adaptability. The expansion of sown areas under these varieties in the conditions of the North-West region of Russia will contribute to solving the problem of the country's raw material supply.

**Key words:** *Linum usitatissimum* L., sample, fiber, seeds, yield, stress resistance, plasticity, adaptability

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment for the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2019-2016).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

**Conflict of interest:** the authors declared no conflict of interest.

*For citations:* Kuzemkin I. A., Rozhmina T. A. Screening of samples of fiber flax collection by productivity and their adaptability to the conditions of the North-West region of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):666-674. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674>

Received: 30.06.2022

Accepted for publication: 24.08.2022

Published online: 26.10.2022

Наиболее эффективным и наименее затратным средством повышения урожайности сельскохозяйственных культур является сорт [1]. Биологический потенциал современных сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции по урожайности волокна достигает 20...25 ц/га и семян – более 10 ц/га [2]. Урожай льноволокна в среднем по Российской Федерации находится на уровне 8,7...9,2 ц/га, льносемян – 1,1 ц/га<sup>1</sup>. Несоответствие между биологической и реальной урожайностью культуры обусловлено, прежде всего, влиянием стрессовых факторов среды [3]. Следует отметить, что в последнее десятилетие все чаще наблюдаются небывалая засуха, шквалистые ветры, крайне неравномерное выпадение осадков, большие перепады температур и другое [4].

Урожай и качество волокнистой льнопродукции формируются в основном в период «всходы-цветение», который является критическим в отношении потребности во влаге. Так, наибольшая концентрация волокнистых пучков наблюдается у растений, выросших в условиях высокой влажности в данный период вегетации. При этом увеличение влажности почвы до 100 % способствует не только увеличению количества волокна в стебле, но и улучшению его качества [5].

Лен является технической культурой двойного использования – на волокно и семена. Если урожай и качество волокна формируются в период «елочка-цветение», то урожай и качество семян в большей мере зависят от климатических условий между фазами «цветение» и «созревание» льна. В период образования коробочек и созревания семян оптимальной для льна считается температура воздуха 16-18 °С. Избыточное количество осадков в фазу «цветение» льна-долгунца отрицательно сказывается на завязываемости семян, а в конце вегетации, вследствие полегания, приводит к значительному снижению семенной продуктивности. При повышенной температуре и низкой влажности воздуха в период

цветения льна также наблюдается уменьшение количества коробочек на растении [6, 7].

Северо-Западный регион России относится к зоне рискованного земледелия, что лимитирует получение гарантированных урожаев льнопродукции<sup>2</sup>. При равной урожайности предпочтение следует отдавать сортам, более устойчивым к различным стрессовым факторам [3]. Важная роль в решении данной задачи принадлежит генетическому разнообразию культуры, сосредоточенному в мировых коллекциях ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. В. Вавилова» (ВИР) и ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» [5, 8]. Использование различных подходов и методов позволило выявить генотипы льна, устойчивые к различным флуктуациям погодных условий [9, 10, 11]. Информация о реакции образцов на изменения условий среды является важнейшим рычагом повышения урожаев сельскохозяйственных растений [12]. В последнее десятилетие активизировались исследования по изучению механизмов устойчивости к различным стрессовым факторам среды, что важно для ускорения селекционного процесса и повышения его результативности [13, 14, 15]. Вместе с тем на сегодняшний день выявлено крайне ограниченное количество генотипов льна, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, что сдерживает проведение целенаправленной селекции в данном направлении.

**Цель исследований** – изучение образцов коллекции льна-долгунца по урожайности волокна и семян, а также параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации.

**Новизна исследований** заключается в выявлении из генофонда льна-долгунца новых образцов, сочетающих высокую урожайность волокна и семян с устойчивостью к стрессовым факторам среды, использование которых обеспечит создание сортов с широким адаптивным потенциалом.

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Агентство по производству и первичной обработке льна и конопли «Лен». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <http://agentstvo-len.ru/urozhaynost-inovolokna-v-rossijskoy-federatsii-ts-ga> (дата обращения: 15.05.2022).

<sup>2</sup>Грингоф Н. Г. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии (Нечерноземная зона Европейской части РСФСР). Л: Гидрометиздат, 1986. 227 с.

**Материал и методы.** Исследования проводили на опытном поле Научно-исследовательского института льна – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК) в течение 2015-2017 гг. Объектом изучения служили 19 сортов и селекционных линий льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции из коллекции ФГБНУ ФНЦ ЛК. Закладку опытов, учеты и наблюдения проводили в соответствии с методическими указаниями по селекции и семеноводству льна-долгунца<sup>3</sup>. Образцы высевали рядовым способом с междурядьями 7,5 см, площадь делянки 1 м<sup>2</sup>, повторность 3-кратная, норма высева из расчета 22 млн всхожих семян на гектар. В качестве стандарта использовали сорт Альфа, включенный в Госреестр РФ по Северо-Западному региону, который высевали через каждые 6 делянок.

Статистическую обработку результатов исследований выполняли методом дисперсионного анализа по Доспехову<sup>4</sup> с использованием программы Microsoft Office Excel 2003. Оценку продуктивного и адаптивного потенциала проводили по методике Л. А. Животкова, З. А. Морозовой, Л. И. Секачевой<sup>5</sup>, индекс условий среды ( $I_j$ ) и коэффициент регрессии ( $b_i$ ) по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell<sup>6</sup>, показатель стрессоустойчивости и среднюю урожайность в контрастных условиях – по уравнениям А. А. Rossielle, J. Hamblin<sup>7</sup> в изложении А. А. Гончаренко<sup>8</sup>.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая с агрохимическими показателями: рН<sub>kcl</sub> 4,63...4,91, содержание подвижного фосфора – 234...256 мг/кг почвы, обменного калия – 142...158 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Различные метеоусловия в годы проведения исследований (2015-2017 гг.) позволили более полно проанализировать изучаемые коллекционные образцы и отобрать лучшие из них по продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды. Так, в 2015 году в

период «елочка-бутонизация» (I-III декады июня и I декада июля) отмечался дефицит влаги в почве на фоне повышенных температур воздуха (ГТК = 0,8), что негативно сказалось на росте и развитии растений льна. В 2017 году умеренный температурный режим и достаточная обеспеченность влагой способствовали формированию высокой урожайности волокнистой льнопродукции. В 2016 году имело место избыточное количество осадков в период бутонизации и цветения льна (в 3,1 раза выше среднемноголетнего показателя), что отрицательно сказалось на завязываемости семян.

**Результаты и их обсуждение.** Для оценки влияния условий выращивания на урожайность льнопродукции в различные годы исследований использовали показатель «индекс условий среды» ( $I_j$ ). Для формирования волокнистой льнопродукции критическим, как отмечалось выше, является период от фазы «елочка» до бутонизации, а для льносемян – от фазы «цветение» до желтой спелости. Как показывают результаты исследований, наиболее благоприятные условия для роста и развития растений льна-долгунца сложились в 2017 г. ( $I_j = +0,52$ ), крайне неблагоприятные – в 2015 г. ( $I_j = -0,42$ ). В результате среднесортная урожайность льноволокна в 2017 г. составила 1,98 т/га, в 2015 г. – 1,03 т/га, почти в два раза ниже (табл. 1). Существенно превзошли стандартный сорт Альфа по урожайности льноволокна в эти годы испытаний сорта Тост 3, Атлант (Россия), Evea (Франция), Alizee, Merylin (Нидерланды). Данные генотипы превысили сорт Альфа в 2015 г. на 26,9 (Merylin)...55,9 % (Тост 3), в 2017 г. – на 17,1 (Атлант)...51,3 % (Evea). В среднем за три года урожайность льноволокна у исследуемых генотипов находилась в диапазоне 0,85 (к-2921, Россия)...2,18 т/га (Evea), а у выделившихся сортов 1,65 (Атлант)...2,18 т/га (Evea), что на 17,0...51,3 % выше стандарта. Большинство изучаемых генотипов проявили среднюю и сильную вариабельность

<sup>3</sup>Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2014. 140 с.

<sup>4</sup>Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 416 с.

<sup>5</sup>Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайность. Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-6.

<sup>6</sup>Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Grop. Sci. 1966;6(1):36-40.

<sup>7</sup>Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretikal aspects of selection for yield in stress and non – stress environments. Grop. Sci. 1981;21(6):27-29.

<sup>8</sup>Гончаренко А. А. Об адаптивной способности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005;(6):49-53.

по урожайности льноволокна. При этом только у генотипов Stormont Motley (Северная Ирландия) и v-8744-10 (Китай) отмечена высокая стабильность по данному признаку ( $CV = 12,06$  и  $13,98$  % соответственно) при урожайности в среднем за три года  $1,07$  и  $1,05$  т/га, что на

$24,1$  % ниже стандарта. Из высокоурожайных сортов средней вариабельностью признака характеризовались отечественные сорта Тост 3 и Атлант ( $CV = 22,58$  и  $33,31$  % соответственно), высокой – сорта западноевропейской селекции Evea, Alizee и Merylin ( $CV = 35,02 \dots 41,70$  %).

*Таблица 1 – Урожайность волокна образцов льна-долгунца, т/га (2015-2017 гг., Тверская обл.) /*  
*Table 1 – Fiber yield of various accessions of fiber flax, t/ha (2015-2017, Tver region)*

Название и происхождение образца / Name and origin of the accession	2015 г.	2016 г.	2017 г.	$\bar{x}$	$CV, \%$	$KA^*/CA^*$
Альфа, Россия (стандарт) / Alfa, Russia (standard)	0,93	1,36	1,93	1,41	35,29	0,97
Evea, Франция / Evea, France	1,35	2,28	2,92	2,18	36,13	1,50
Alizee, Нидерланды / Alizee, The Netherlands	1,30	1,71	2,88	1,96	41,70	1,35
Тост 3, Россия / Tost 3, Russia	1,45	1,72	2,25	1,81	22,58	1,24
Merylin, Нидерланды / Merylin, The Netherlands	1,18	1,70	2,41	1,77	35,02	1,21
л. 323-02, Россия / l. 323-02, Russia	1,02	1,57	2,37	1,65	40,87	1,14
Атлант, Россия / Atlant, Russia	1,20	1,48	2,26	1,65	33,31	1,13
AGT 964/06, Чешская Республика / AGT 964/06, Czech Republic	1,05	1,40	2,49	1,65	45,82	1,13
AR 7, Россия / AR 7, Russia	1,05	1,54	2,26	1,61	37,66	1,11
Z 61783-81, Румыния / Z 61783-81, Romania	1,03	1,12	1,95	1,37	37,30	0,94
Родник, Республика Беларусь / Rodnik, Belarus	0,83	1,35	2,18	1,45	46,76	1,00
Согласие, Республика Беларусь / Soglasie, Belarus	0,90	1,21	1,62	1,24	29,04	0,85
AGT 788/05, Чешская Республика / AGT 788/05, Czech Republic	1,00	1,26	1,82	1,36	30,43	0,94
China 1, Китай / China 1, China	0,99	1,22	1,81	1,34	31,73	0,92
ВИР 8, Россия / VIR 8, Russia	0,95	1,25	1,76	1,32	31,27	0,91
Новоторжский, Россия / Novotorzhskiy, Russia	0,89	1,31	1,72	1,31	31,60	0,90
Stormont Motley, Северная Ирландия / Stormont Motley, Northern Ireland	0,95	1,06	1,21	1,07	12,06	0,74
Светоч, Россия / Svetoch, Russia	0,81	0,99	1,41	1,07	28,86	0,74
v-8744-10, Китай / v-8744-10, China	1,04	0,90	1,19	1,05	13,98	0,72
к- 2921 (Палкинский кряж), Россия / k-2921, Palkinskiy kryazh, Russia	0,71	0,76	1,07	0,85	22,98	0,58
Среднесортная урожайность / Average variety yield	1,03	1,36	1,98	1,46	-	-
Индекс среды $I_j$ / Environment index $I_j$	-0,42	-0,10	+0,52	-	-	-
$HCP_{05} / LSD_{05}$	0,15	0,18	0,31	-	-	-

\*КА – коэффициент адаптивности / \*CA – coefficient of adaptability

Для формирования льносемян более благоприятные условия сложились в 2015 и 2017 гг. ( $I_j = +0,06$  и  $+0,07$  соответственно), условия 2016 г. были менее благоприятными ( $I_j = -0,14$ ). В результате значения среднесортной урожайности льносемян в 2015 и 2017 гг. были близки и составили  $0,77$  и  $0,78$  т/га соответственно, в 2016 г. –  $0,57$  т/га (табл. 2). Несмотря на относительно благоприятные условия 2015 и 2017 гг. реакция генотипов была различной. В 2015 г. существенно превосходили

как стандарт, так и среднесортное значение признака следующие образцы – л. 323-02, Merylin, ВИР 8, Evea, Alizee, Атлант, AP 7. При этом генотипы л. 323-02, Merylin и Alizee превысили стандарт и в 2017 г. на  $6,7 \dots 22,5$  %, их урожайность была максимальной и составила  $0,95 \dots 1,09$  т/га. Однако при неблагоприятных погодных условиях в 2016 г. существенно превосходили стандарт сорта Новоторжский и Светоч. Следует отметить, что наиболее высокой стабильностью обладали сорта Светоч, Тост 3

и Родник ( $CV = 1,40...9,99\%$ ). В среднем за 3 года превосходили высокоурожайный сорт Альфа следующие образцы – л. 323-02, Новоторжский, Merylin, ВИР 8, Evea и Атлант, урожайность льносемян у них составила  $0,77...0,88$  т/га, уровень вариабельности –  $11,02...28,58\%$ . Данные генотипы также существенно превосходили и среднесортное значение признака

( $KA = 1,10...1,25$ ), что указывает на их высокую адаптивность. Сильную вариабельность по урожайности льносемян проявили генотипы Alizee, AP 7 и v-8744-10 ( $CV = 36,21...55,39\%$ ). При этом линия v-8744-10 по данному показателю оказалась наиболее неприспособленной к условиям Северо-Западного региона России ( $KA = 0,59$ ).

Таблица 2 – Урожайность семян образцов льна-долгунца, т/га (2015-2017 гг.) /  
 Table 2 – Seed yield of various accessions of fiber flax, t/ha (2015-2017)

Название образца / Name of the accession	2015 г.	2016 г.	2017 г.	$\bar{x}$	CV, %	KA / CA
Альфа – стандарт / Alfa – standard	0,74	0,66	0,89	0,76	15,18	1,08
л. 323-02 / l. 323-02	0,88	0,66	1,09	0,88	24,30	1,25
Новоторжский / Novotorzhskiy	0,77	0,82	0,95	0,85	11,02	1,21
Merylin	0,82	0,59	1,06	0,82	28,58	1,17
ВИР 8 / VIR 8	0,98	0,57	0,84	0,80	26,53	1,13
Evea	0,83	0,59	0,90	0,77	21,31	1,10
Светоч / Svetoch	0,75	0,73	0,73	0,73	1,40	1,04
Alizee	0,80	0,43	0,95	0,73	36,83	1,03
Родник / Rodnik	0,66	0,65	0,78	0,70	9,99	0,99
AGT 964/06	0,71	0,53	0,85	0,69	23,23	0,98
AGT 788/05	0,75	0,55	0,76	0,69	17,13	0,98
Тост 3 / Tost 3	0,72	0,69	0,64	0,68	5,76	0,97
China 1	0,72	0,58	0,70	0,67	11,78	0,95
Z 61783-81	0,69	0,48	0,86	0,68	28,32	0,96
Согласие / Soglasie	0,65	0,56	0,76	0,66	15,58	0,94
к-2921 (Палкинский кряж) / k-2921 (Palkinskiy kryazh)	0,68	0,59	0,52	0,59	13,41	0,84
Атлант / Atlant	0,98	0,59	0,76	0,78	25,03	1,11
AP 7 / AR 7	0,81	0,45	0,46	0,57	36,21	0,82
Stormont Motley	0,71	0,42	0,69	0,60	26,58	0,86
v-8744-10	0,68	0,23	0,34	0,42	55,39	0,59
Среднесортная урожайность / Average variety yield	0,77	0,57	0,78	0,70	-	-
Индекс среды, $I_j$ / Environment index $I_j$	+0,06	-0,14	+0,07	-	-	-
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,04	0,06	0,05	-	-	-

Важным показателем адаптивности и экологической пластичности коллекционных образцов является устойчивость к стрессу, которая определяется исходя из разности между минимальной и максимальной урожайностью ( $Y_2 - Y_1$ ). Полученная величина имеет отрицательное значение, и чем она меньше, тем выше устойчивость генотипа к неблагоприятным факторам среды. Высоким уровнем приспособленности к условиям Северо-Западного региона России по урожайности льноволокна отличались образцы льна-долгунца Согласие (Республика Беларусь), Stormont Motley

(Северная Ирландия), v-8744-10 (Китай) и к-2921 (Палкинский кряж), значение признака составило  $-0,26...-0,41$  (табл. 3). Урожайность льноволокна в среднем за три года у данных образцов составила  $0,85...1,24$  т/га. У стандарта – сорта Альфа, величина данного признака  $-0,99$  при урожайности льноволокна  $1,41$  т/га. Из высокоурожайных сортов средний уровень стрессоустойчивости проявили сорта Evea, Тост 3 и Атлант, величина признака составила  $-0,64$ ;  $-0,80$  и  $-1,06$  соответственно. Наиболее неустойчивыми к стрессовым условиям отмечены сорта льна-долгунца Alizee (Нидерланды),

Merylin, Родник (Республика Беларусь),  
AGT 964/06 (Чешская Республика) и линия

л. 323-02 (Россия), величина признака находилась  
в диапазоне от -1,23 (Merylin) до -1,58 (Alizee).

Таблица 3 – Показатели адаптивности сортов льна-долгунца по урожайности волокна (2015-2017 гг.) /  
Table 3 – Indicators of adaptability of fiber flax varieties in terms of fiber yield (2015-2017)

Название образца / Name of the accession	Стрессоустойчивость / Stress resistance ( $Y_2 - Y_1$ )	Средняя урожайность в контрастных условиях, т/га / Average yield in contrasting conditions, t/ha ( $Y_1 + Y_2 / 2$ )	Стабильность (d), % / Stability (d), %	Пластичность (коэффициент регрессии, $b_i$ ) / Plasticity (regression coefficient, $b_i$ )
Альфа – стандарт / Alfa- standard	-0,99	1,43	51,47	1,65
Evea	-0,64	2,60	21,96	2,51
Alizee	-1,58	2,09	54,84	2,55
Тост 3 / Tost 3	-0,80	1,85	35,59	1,77
Merelin	-1,23	1,80	51,07	2,07
л. 323-02 / l. 323-02	-1,34	1,70	56,77	2,10
Атлант / Atlant	-1,06	1,73	46,85	1,91
AGT 964/06	-1,45	1,77	57,98	2,25
AP 7 / AR 7	-1,21	1,65	53,60	1,96
Z 61783-81	-0,84	1,53	42,83	1,67
Родник / Rodnik	-1,35	1,51	61,86	1,99
Согласие / Soglasie	-0,41	1,41	25,52	1,34
AGT 788/05	-0,81	1,41	44,68	1,51
China 1	-0,82	1,40	45,53	1,52
VIR 8	-0,82	1,35	46,37	1,48
Новоторжский / Novotorzhskiy	-0,83	1,31	48,01	1,44
Stormont Motley	-0,26	1,08	21,29	0,86
Светоч / Svetoch	-0,60	1,11	42,63	1,16
v-8744-10	-0,29	1,05	24,52	0,82
к-2921 / k-2921	-0,36	0,89	33,86	0,84

Средняя урожайность генотипа в контрастных условиях ( $Y_1 + Y_2/2$ ) позволяет оценить его генетическую гибкость и компенсаторную способность. Чем выше значения этого показателя, тем выше степень соответствия между потенциальными возможностями сорта и различными факторами среды. У образцов Evea (Франция), Alizee, Merylin (Голландия), Тост 3, л. 323-02, Атлант, AP 7 (Россия), AGT 964/06 (Чешская Республика), величина признака составила 1,65...2,60, что на 15,4...81,8 % выше сорта-стандарта Альфа.

Величина показателя d позволяет оценить уровень стабильности урожайности льноволокна в конкретных условиях выращивания. Данный показатель рассчитывается как отношение между максимальной и минимальной урожайностью к максимальной величине, выраженное в процентах. Чем ниже значение показателя, тем лучше сорт приспособлен к

условиям возделывания. Наиболее стабильную реакцию на различные условия среды проявили образцы Evea (Франция), Тост 3 (Россия), Согласие (Республика Беларусь), Stormont Motley (Северная Ирландия), v-8744-10 (Китай) и к-2921 (Палкинский крахмал, Россия), величина признака составила 21,96...35,59 %. Менее приспособлены к условиям Северо-Западного региона России такие генотипы, как Alizee (Франция), AP 7, л. 323-02 (Россия), AGT 964/06 (Чешская Республика), Родник (Республика Беларусь), показатель d находился в диапазоне 53,60...61,86 %.

Адаптивные свойства сортов сельскохозяйственных культур определяли по оценке их пластичности, рассчитанной по коэффициенту линейной регрессии ( $b_i$ ) согласно модели S. A. Eberhart, W. A. Russell, величина которого отражает реакцию сортов на изменение условий выращивания. Проведенный нами анализ

показывает, что отзывчивостью ( $b_i > 1$ ) на улучшение условий выращивания обладает подавляющее большинство изучаемых образцов льна-долгунца. Такие генотипы относятся к интенсивному типу, хорошо отзываются на благоприятные агрометеорологические условия, но, как правило, значительно снижают урожайность в неблагоприятных условиях выращивания. Исключения составили образцы Stormont Motley (Северная Ирландия), v-8744-10 (Китай) и к-2921 (Палкинский кряж, Россия), у которых значение  $b_i$  составило менее 1, что свидетельствует об их слабой отзывчивости на улучшение условий возделывания. Только у сорта Светоч коэффициент регрессии близок к 1, что указывает на полное соответствие величины его урожайности изменениям условий выращивания.

Как показывают результаты оценки стрессоустойчивости сортов по признаку «урожайность льносемян» ( $Y_2 - Y_1$ ), высокой приспособленностью к условиям Северо-

Западного региона России обладают такие генотипы, как Светоч, Тост 3, Новоторжский, Родник, AGT 788/05, China 1, Согласие, к-2921, Палкинский кряж ( $-0,02...-0,21$ ). Наиболее высокой генетической гибкостью и компенсаторной способностью ( $Y_1 + Y_2 / 2$ ) отличились образцы л. 323-02, Новоторжский, Merylin, Атлант и ВИР 8, значение признака составило  $-0,78...-0,89$  (табл. 4). У стандарта Альфа показатель стрессоустойчивости составил  $-0,23$ , показатель гибкости и компенсаторной способности  $-0,77$ . Повышенным уровнем стабильности по урожайности льносемян в данных условиях выращивания обладали сорта Светоч, Тост 3 и Родник: значения показателя  $d$  минимальные  $-2,41...16,0$ , у стандарта Альфа  $-16,93$ . Как показывают результаты оценки линейной регрессии, практически все изученные генотипы отзывчивы на улучшение условий выращивания ( $b_i = 1,21...2,84$ ). Исключение составила линия китайской селекции v-8744-10 ( $b_i < 1$ ).

Таблица 4 – Показатели адаптивности сортов льна-долгунца по урожайности семян (2015-2017 гг.) /  
Table 4 – Indicators of adaptability of fiber flax varieties by the seed yield (2015-2017)

Название образца / Name of the accession	$Y_2 - Y_1$	$(Y_1 + Y_2) / 2$	$d, \%$	$b_i$
Альфа – стандарт / Alfa – standard	-0,23	0,77	16,93	2,30
Evea	-0,31	0,74	34,91	2,36
Alizee	-0,52	0,69	54,74	2,50
Тост 3 / Tost 3	-0,08	0,68	10,90	1,65
Merylin	-0,47	0,82	44,46	2,76
л. 323-02 / l. 323-02	-0,43	0,87	39,22	2,84
Атлант / Atlant	-0,39	0,79	39,61	2,00
AGT 964/06	-0,32	0,69	37,92	2,21
AP 7 / AR 7	-0,37	0,63	45,05	1,21
Z 61783-81	-0,38	0,67	44,36	2,26
Родник / Rodnik	-0,12	0,71	16,00	2,00
Согласие / Soglasie	-0,20	0,66	26,75	1,99
AGT 788/05	-0,21	0,66	27,69	2,00
China 1	-0,14	0,65	20,03	1,82
ВИР 8 / VIR 8	-0,42	0,78	42,32	2,20
Новоторжский / Novotorzhskiy	-0,18	0,86	19,03	2,45
Stormont Motley	-0,29	0,56	40,66	1,81
Светоч / Svetoch	-0,02	0,74	2,41	1,87
v-8744-10	-0,44	0,46	65,38	0,91
к-2921 / k-2921	-0,16	0,60	23,56	1,33

**Выводы.** Комплексная оценка изучаемых образцов по урожайности льноволокна, льносемян и параметрам адаптивности с использованием разных методик позволила выделить генотипы, обладающие высокой потенциальной продуктивностью и широким адап-

тивным потенциалом в условиях Северо-Западного региона России. Существенно превосходили стандарт по урожайности льноволокна – на 17,0...51,3 % сорта Тост 3, Атлант (Россия), Evea (Франция), Alizee, Merylin (Голландия). При этом сорта Тост 3 и



Атлант обладали средней вариабельностью признака ( $CV = 22,58$  и  $33,31$  % соответственно), сорта Evea (Франция), Alizee, Merylin (Нидерланды) – высокой ( $CV = 35,02...41,70$  %). Сорта Merylin, Evea и Атлант также показали высокую урожайность льносемян  $0,77...0,82$  т/га, уровень вариабельности признака – средний ( $21,31...28,58$  %).

Из выделившихся высокоурожайных сортов льна-долгунца наиболее широким адаптивным потенциалом обладали сорта Тост 3, Атлант и Evea. Сорт Тост 3 проявил стрессоустойчивость и наиболее стабильную реакцию на различные условия среды как по урожайности льноволокна, так и льносемян, отличался высокой генетической гибкостью и компенсаторной способностью по урожайности льноволокна. Сорт Атлант обладал наиболее высокой генетической гибкостью и компенсаторной способностью по урожайности льноволокна и льносемян, а также средним уровнем стрессоустойчивости по урожайности льноволокна. Сорт Evea проявил средний уровень стрессоустойчивости, высокие показатели генетической гибкости и компенсаторной способности,

а также стабильную реакцию на различные условия среды по урожайности льноволокна.

Большинство изученных коллекционных образцов оказались высокоотзывчивыми на улучшение условий выращивания. Исключения составили по признаку «урожайность льноволокна» такие образцы, как Stormont Motley (Северная Ирландия), v-8744-10 (Китай) и к-2921 (Палкинский кряж, Россия), у которых значение  $b_i$  составило менее 1, что свидетельствует о слабой отзывчивости на улучшение условий выращивания. Только у сорта Светоч коэффициент регрессии оказался близким к 1, что указывает на полное соответствие величины его урожайности изменениям условий выращивания. По признаку «урожайность льносемян» исключение составила линия китайской селекции v-8744-10 ( $b_i < 1$ ).

Таким образом, современные сорта Тост 3, Атлант и Evea, сочетающие высокую потенциальную урожайность льнопродукции и широкий адаптивный потенциал, являются ценным исходным материалом при создании новых высококонкурентных сортов льна-долгунца для условий Северо-Запада России.

#### Список литературы

1. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: РУДН, 2001. Т. 1. 780 с.
2. Рожмина Т. А., Рыжов А. И., Куземкин И. А., Киселева Т. С. Внутривидовое разнообразие льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) и его роль в решении проблемы создания отечественной сырьевой базы. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(12):17-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32301742>
3. Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические аспекты). Т. I, II. М.: ООО «Издательство Агрорус», 2001. 1489 с.
4. Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д., Сиптиц С. О., Романенко И. А., Барталев С. А., Савин Ю. И. Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. 203 с.
5. Жученко А. А., Рожмина Т. А., Понажев В. П., Павлова Л. Н., Тихомирова В. Я., Сорокина О. Ю., Павлов Е. И., Поздняков Б. А., Усанова З. И. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь: Тверской ГУ, 2009. 272 с.
6. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. BMC Plant Biology. 2013;13:78. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-78>
7. Понажев В. П., Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Тихомирова В. Я., Поздняков Б. Я., Сорокина О. Ю., Захарова Л. М., Рыжов А. И., Серков В. А., Смирнов А. А., Ушерович Е. М. Лен и конопля: зонально-адаптивные сорта и технологии производства: монография. Тверь, 2014. 215 с.
8. Pavlov A. V., Porokhovina E. A., Novikova L., Kutuzova S. N., Brutch N. B. Linseed for dual (seed and fiber) utilization new linseed accessions in the VIR collection, suitable for dual utilization (seed and fiber) in the north-western region of the Russian Federation. Journal of Natural Fibers. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952137>
9. Королев К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Белоруссии. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(3):615-621. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>
10. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Лисицкая Т. Д. Оценка коллекционных образцов льна-долгунца по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Запада Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23 (1):54-68. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.54-68>
11. Du G.-H., Liu F.-H., Rowland G. Fiber cell development and fiber yield of flax (*Linum usitatissimum* L.) affected by the seasonal temperature pattern. Can. J. Plant Sci. 2015;95:1215-1220. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-185>
12. Драгавцев В. А., Драгавцева И. А., Ефимова И. Л., Маринец А. С., Савин И. Ю. Управление взаимодействием «генотип-среда» – важнейший рычаг повышения урожая сельскохозяйственных растений. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016;(59):105-121.
13. Brach N., Matvienk I., Porokhovina E., Pavlov A., Koshkin V., Nozkova J. Effect of photoperiod on *Linum usitatissimum* L. characters. Journal of Natural Fibers. 2020;17(9):1345-1354. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1568345>



14. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and salinealkaline stresses. BMC Plant Biol. 2016;16(1):124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>

15. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaya O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. Biochimie. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>

#### References

1. Zhuchenko A. A. Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic foundations). Moscow: RUDN, 2001. Vol. 1. 780 p.

2. Rozhmina T. A., Ryzhov A. I., Kuzemkin I. A., Kiseleva T. S. Intraspecific variety of *Linum usitatissimum* L. and its role in the decision of a problem of raw maintenance of the country. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(12):17-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32301742>

3. Zhuchenko A. A. Adaptive potential of cultivated plants (environmental and genetic aspects). Vol. I, II. Moscow: OOO «Izdatel'stvo Agrorus», 2001. 1489 p.

4. Gordeev A. V., Kleshchenko A. D., Chernyakov B. A., Sirotenko O. D., Siptits S. O., Romanenko I. A., Bartalev S. A., Savin Yu. I. Bioclimatic potential of Russia: productivity and rational distribution of agricultural crops in the context of climate change. Moscow: Tipografiya Rossel'khozakademii, 2012. 203 p.

5. Zhuchenko A. A., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Tikhomirova V. Ya., Sorokina O. Yu., Pavlov E. I., Pozdnyakov B. A., Usanova Z. I. Ecological and genetic bases of fiber flax breeding. Tver': Tverckoy GU, 2009. 272 p.

6. Soto-Cerda B. J., Diederichsen A., Ragupathy R., Cloutier S. Genetic characterization of a core collection of flax (*Linum usitatissimum* L.) suitable for association mapping studies and evidence of divergent selection between fiber and linseed types. BMC Plant Biology. 2013;13:78. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-78>

7. Ponazhev V. P., Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Tikhomirova V. Ya., Pozdnyakov B. Ya., Sorokina O. Yu., Zakharova L. M., Ryzhov A. I., Serkov V. A., Smirnov A. A., Usherovich E. M. Flax and hemp: zone-adaptive varieties and production technologies: monograph. Tver', 2014. 215 p.

8. Pavlov A. V., Porokhovina E. A., Novikova L., Kutuzova S. N., Brutch N. B. Linseed for dual (seed and fiber) utilization new linseed accessions in the VIR collection, suitable for dual utilization (seed and fiber) in the north-western region of the Russian Federation. Journal of Natural Fibers. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952137>

9. Korolev K. P., Bome N. A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the north-eastern Belarus. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):615-621. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>

10. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Lisitskaya T. D. Evaluation of collection accessions of fiber flax according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of North-West of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(1):54-68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.54-68>

11. Du G.-H., Liu F.-H., Rowland G. Fiber cell development and fiber yield of flax (*Linum usitatissimum* L.) affected by the seasonal temperature pattern. Can. J. Plant Sci. 2015;95:1215-1220. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-185>

12. Dragavtsev V. A., Dragavtseva I. A., Efimova I. L., Marinets A. S., Savin I. Yu. Management by "genotype-environment" interaction – most important lever for increase of cultivated plants yields. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016;(59):105-121. (In Russ.).

13. Brach N., Matvienk I., Porokhovina E., Pavlov A., Koshkin V., Nozkova J. Effect of photoperiod on *Linum usitatissimum* L. characters. Journal of Natural Fibers. 2020;17(9):1345-1354. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1568345>

14. Yu Y., Wu G., Yuan H., Cheng L., Zhao D., Huang W., Zhang S., Zhang L., Chen H., Zhang J., Guan F. Identification and characterization of miRNAs and targets in flax (*Linum usitatissimum*) under saline, alkaline, and salinealkaline stresses. BMC Plant Biol. 2016;16(1):124. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0808-2>

15. Melnikova N. V., Dmitriev A. A., Belenikin M. S., Speranskaya A. S., Krinitsina A. A., Rachinskaya O. A., Lakunina V. A., Krasnov G. S., Snezhkina A. V., Sadritdinova A. F., Uroshlev L. A., Koroban N. V., Samatadze T. E., Amosova A. V., Zelenin A. V., Muravenko O. V., Bolsheva N. L., Kudryavtseva A. V. Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. Biochimie. 2015;109:36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017>

#### Сведения об авторах

**Куземкин Иван Александрович**, младший научный сотрудник, Институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: [vnii.sekretar@mail.ru](mailto:vnii.sekretar@mail.ru)

✉ **Рожмина Татьяна Александровна**, доктор биол. наук, зав. лабораторией селекционных технологий, Институт льна – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Луначарского, д. 35, г. Торжок, Российская Федерация, 172002, e-mail: [vnii.sekretar@mail.ru](mailto:vnii.sekretar@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8204-7341>, e-mail: [len\\_rozhmina@mail.ru](mailto:len_rozhmina@mail.ru)

#### Information about the authors

**Ivan A. Kuzemkin**, junior researcher, Flax Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: [vnii.sekretar@mail.ru](mailto:vnii.sekretar@mail.ru)

✉ **Tatiana A. Rozhmina**, DSc in Biology, Head of the Laboratory of Breeding Technologies, Flax Institute – Separate division of Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Lunacharsky St., 35, Torzhok, Russian Federation, 172002, e-mail: [vnii.sekretar@mail.ru](mailto:vnii.sekretar@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8204-7341>, e-mail: [len\\_rozhmina@mail.ru](mailto:len_rozhmina@mail.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author