

Научная статья/Research Article

УДК 633.853.494: 631.527

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-90-101

Нина Георгиевна Маркелова<sup>1✉</sup>, Людмила Николаевна Сибирная<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Липецкий НИИ рапса – филиал ФНЦ Всероссийский НИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта, Липецк, Россия

<sup>1</sup>chibika@mail.ru

<sup>2</sup>trutneval@mail.ru

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО ИЗУЧЕНИЯ ИМИДАЗОЛИНОНОУСТОЙЧИВЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОГО РАПСА В ЛЕСОСТЕПИ ЦЧР

Цель исследования – изучить межгодовую вариабельность основных хозяйственно ценных признаков и предложить новый исходный материал для селекции гербицидоустойчивого рапса в ЦЧР РФ. В 2021–2023 гг. в Липецком научно-исследовательском институте рапса – филиале ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК проведено полевое изучение 54 образцов новых имидазолиноноустойчивых линий ярового рапса селекции ЛНИИР. Экспериментальные данные обработаны методами математической статистики: проведено сравнение средних величин при помощи критерия Тьюки HSD, Стьюдент – Ньюман – Кеулс тест (SNK test) с визуализацией на диаграммы размахов (box-plots), рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции, достоверность различий подтверждена дисперсионным анализом (ANOVA). Выявлено наличие устойчивой к полеганию группы биотипов со стабильно экспрессируемой высокой семенной продуктивностью (более 203,5 г/м<sup>2</sup>): HRrL36, HRrL41, HRrL39. В среднем за 3 года урожайность достоверно коррелировала с весом семян с одного растения ( $r = 0,58$ ) и массой 1000 семян ( $r = 0,59$ ), также выявлена слабая положительная корреляция с высотой растения ( $r = 0,09$ ) и полегаемостью ( $r = 0,03$ ). Наиболее благоприятные погодные условия для формирования урожайности сложились в 2023 г. (средняя урожайность в опыте – 221,2 г/м<sup>2</sup>, высота растений – 224,4 см, масса 1000 семян – 3,87 г). По результатам SNK теста массы 1000 семян выделились образцы HRrL41, HRrL33, HRrL36, HRrL39 (3,51...3,68 г). Также выявлены линии HRrL56 и HRrL58 с повышенным содержанием олеиновой кислоты в масле (70,04...73,74 %), что превышает среднее значение сорта-стандарта Форпост КЛ с традиционным жирнокислотным составом (67,3 %). Полученные статистические параметры основных хозяйственно ценных признаков имидазолиноноустойчивых линий HRrL позволяют использовать их в селекционных программах по гербицидоустойчивым сортам ярового рапса.

**Ключевые слова:** рапс яровой, имидазолиноноустойчивые линии, источники хозяйственно ценных признаков, дисперсионный анализ, корреляции, критерий Тьюки, критерий Стьюдента

**Для цитирования:** Маркелова Н.Г., Сибирная Л.Н. Результаты полевого изучения имидазолиноноустойчивых линий ярового рапса в лесостепи ЦЧР // Вестник КрасГАУ. 2026. № 2. С. 90–101. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-90-101.

Nina Georgievna Markelova<sup>1✉</sup>, Lyudmila Nikolaevna Sibirnaya<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Lipetsk Research Institute of Rapeseed – branch of the FSC All-Russian Research Institute of Oilseed Crops named after V.S. Pustovoit, Lipetsk, Russia

<sup>1</sup>chibika@mail.ru

<sup>2</sup>trutneval@mail.ru

FIELD STUDY RESULTS OF IMIDAZOLINONE-RESISTANT SPRING RAPE LINES  
IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

The aim of the study is to investigate the interannual variability of key economically valuable traits and propose new source material for breeding herbicide-resistant rapeseed in the Central Chernozem Region of the Russian Federation. From 2021 to 2023, a field study of 54 accessions of new imidazolinone-resistant spring rapeseed lines bred by the Lipetsk Research Institute of Rapeseed (VNIIMK) was conducted at the Lipetsk Research Institute of Rapeseed, a branch of the Lipetsk Research Institute of Rapeseed. The experimental data were processed using statistical methods: mean values were compared using the Tukey HSD test and the Student–Newman–Keuls test (SNK test) with visualization in boxplots. Rank correlation coefficients were calculated, and the significance of differences was confirmed by analysis of variance (ANOVA). The presence of a lodging-resistant group of biotypes with stably expressed high seed productivity (over 203.5 g/m<sup>2</sup>) was revealed: HRrL36, HRrL41, HRrL39. On average, over 3 years, the yield significantly correlated with the weight of seeds per plant ( $r = 0.58$ ) and the weight of 1000 seeds ( $r = 0.59$ ), and a weak positive correlation with plant height ( $r = 0.09$ ) and lodging ( $r = 0.03$ ) was also found. The most favorable weather conditions for yield formation were formed in 2023 (average yield in the experiment was 221.2 g/m<sup>2</sup>, plant height was 224.4 cm, and weight of 1000 seeds was 3.87 g). Based on the results of the SNK test on 1000 seed weight, the following samples were identified: HRrL41, HRrL33, HRrL36, and HRrL39 (3.51–3.68 g). The HRrL56 and HRrL58 lines were also identified with increased oleic acid content in their oil (70.04–73.74 %), exceeding the average value of the standard variety Forpost KL with a traditional fatty acid composition (67.3 %). The obtained statistical parameters of the main economically valuable traits of the imidazolinone-resistant HRrL lines allow their use in breeding programs for herbicide-tolerant spring rapeseed varieties.

**Keywords:** spring rapeseed, imidazolinone-resistant lines, sources of economically valuable traits, analysis of variance, correlations, Tukey's test, Student's t-test

**For citation:** Markelova NG, Sibirnaya LN. Field study results of imidazolinone-resistant spring rape lines in the forest-steppe zone of the Central Chernozem Region. *Bulletin of KSAU*. 2026;(2):90-101. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-2-90-101.

**Введение.** Рапс называют «семенем будущего», так как в общемировом производстве масличных культур он в настоящее время занимает центральное место для большей части стран-производителей маслосемян.

Мировыми флагманами по выращиванию рапса являются страны Евросоюза, Канада и КНР, к позициям которых стремятся отечественные аграрии. В настоящий момент посевные площади ярового и озимого рапса в РФ составляют примерно 2,7 млн. га, тогда как десять лет назад рапсовый клин занимал около 600 тыс. га. Урожай рапса (озимого и ярового) по итогам 2024 г. вырос на 10,9 % по сравнению с 2023 г. и составил рекордные 4660,2 тыс. тонн (в весе после доработки) [1].

По данным ФГБУ «Россельхозцентр», лидером среди десяти самых популярных в нашей стране сортов ярового рапса в 2024 г. стал Форпост КЛ, высеванный в объеме 1,61 тыс. т, второе место занял гибрид Билдер 0,95 тыс. т, на третьем – сорт Герос 0,58 тыс. т [2]. Форпост КЛ – это первый отечественный сорт ярового рапса,

устойчивый к гербициду Нопасаран и его аналогам [3].

Таким образом крупные сельхозпроизводители с большими площадями возделывания рапса активно покупают сорта и гибриды, устойчивые к гербицидам имидазолиноновой группы для возделывания по технологии Clearfield, это самая эффективная система борьбы с крестоцветным засорением рапса, выращиваемого как по классической, так и по no-till технологии. Система Clearfield базируется на совместном действии гербицидов на основе имидазолинонов – ингибиторов фермента ацетолаттасинтазы (ALS-ингибитор) у чувствительных растений, и устойчивых к ним гибридов и сортов рапса. В России для применения в системе Clearfield на яровом рапсе зарегистрирован гербицид Нопасаран, КС, содержащий действующие вещества имазамокс (25 г/л) и метазахлор (375 г/л) с нормой расхода 0,8–1,2 л/га.

В связи с этим в отделе селекции и семеноводства рапса ЛНИИР – филиале ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК осуществляется поиск доноров гербицидоустойчивости для создания новых линий

генетической коллекции рапса, а также аналогов уже существующих селекционных линий путем многократного беккроссирования с последующим отбором имидазолиноустойчивых гетерозигот.

**Цель исследований** – изучить межгодовую вариабельность основных хозяйственно ценных признаков имидазолиноустойчивых линий ярового рапса селекции ЛНИИР и предложить новый исходный материал для селекции гербицидоустойчивого рапса в ЦЧР РФ.

**Объекты и методы.** Экспериментальная часть работы проведена на опытном поле отдела селекции ЛНИИР (г. Липецк) филиале ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, в 2021–2023 гг. Объектом исследования являлись 54 новых имидазолиноустойчивых линий ярового рапса из коллекции лаборатории генетики и иммунитета ЛНИИР. Для удобства в работе они получили индекс HRrL (Herbicide resistance rapeseed of Lipetsk) и порядковый номер.

Линии HRrL характеризуются 100 % устойчивостью к гербицидам широкого спектра действия и получены методом многократного индивидуального отбора выживших после обработки гербицидами имидазолиновой группы растений из внутривидовых гибридов, полученных из отечественных сортов Форпост КЛ, Спутник КЛ и гибридов зарубежной селекции.

Полевые опыты, учеты и наблюдения выполняли по общепринятой методике [4] на опытном поле института, почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый: гумус (по Тюрину) – 5,28–7,81 %, рН – 5,3–6,7; гидролитическая кислотность – 4,2–4,9 мг-экв/100 г почвы.

Площадь делянки – 4,5 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, в качестве стандартов были выбраны сорт Форпост КЛ и гибрид V7001 CL, размещенные через 10 и 11 номеров соответственно. Посев осуществлен в оптимальные сроки, селекционной сеялкой СУ-10, по межъярусным и межделяночным дорожкам проведена обработка посевов пестицидами, рыхление почвы. Уборка делянок выполнена комбайном SAMPO 130 по достижении фазы полной спелости. Обработку гербицидом «Нопасаран», КС с прилипателем ДАШ (в соотношении 1 : 1) проводили в фазе розетки листьев, расход препарата 1,2 л/га.

Исследовали 11 показателей: урожайность, масса семян с одного растения, масса 1000 семян, полегаеть, высота растения, устойчивость к фузариозу, устойчивость к альтернариозу, масличность, содержание глюкозинолатов и

белка в семенах, содержание олеиновой кислоты в масле.

Определение структурных элементов урожая проводили на 10 растениях каждой линии в 3 повторениях, отобранных с пробных площадок [5].

Поражаемость рапса болезнями учитывалась в соответствии с методическими указаниями ВИЗР [6].

Масличность, содержание глюкозинолатов и сырого протеина в семенах определяли на ИК-анализаторе SpectraStar 2600XT-3 [7]. Определение жирнокислотного состава масла выполнялось методом газожидкостной хроматографии метиловых эфиров жирных кислот по ГОСТ 30089-93 на хроматографе «Хроматэк–Кристалл 5000» [8].

Статистическая обработка экспериментальных данных: дисперсионный, корреляционный анализ, апостериорные критерии однофакторного дисперсионного анализа (критерии Тьюки HSD и SNK Стьюдента–Ньюмена–Келса) а также построение диаграмм и визуализацию результатов выполнили в редакторе RStudio 2024.12.0 Build 467 и MS Excel [9].

**Результаты и их обсуждение.** Сравнение имидазолиноустойчивых линий по основным селекционным признакам показало, что высота растений ярового рапса в среднем по опыту была 111,5 см и варьировала от 98,3 см у линии HRrL34 до 118,6 см у стандарта Форпост КЛ. В соответствии с классификацией все линии HRrL являются среднерослыми (91–120 см.). Однако множественное попарное сравнение групповых средних величин высот растений при помощи критерия Тьюки HSD выявило наличие устойчивой группы «abcd» 13 биотипов среди среднерослых имидазолиноустойчивых линий ( $P$ -value =  $1,82 \cdot 10^{-5}$ ) (рис. 1).

За годы исследований образы HRrL значительно отличались по устойчивости к полеганию, баллы визуальной оценки полегания линий варьировали от 1 (высокая степень устойчивости к полеганию) до 5 (низкая устойчивость к полеганию). SNK метод (Стьюдент–Ньюман–Кеулс тест) множественных сравнений средних выявил наличие контрастных групп по данному признаку: к группам «а, ab» – неустойчивые, отнесены линии HRrL21, HRrL15, HRrL14, HRrL55; к группе «bc» – с устойчивостью ниже средней, HRrL28 и Форпост КЛ; к группе «с, cd, de» – со средней устойчивостью, гибрид V7001, HRrL16, HRrL24, HRrL53, HRrL49, остальные 10 биотипов попадают в группу «е» – устойчивых к полеганию образцов (рис. 2).

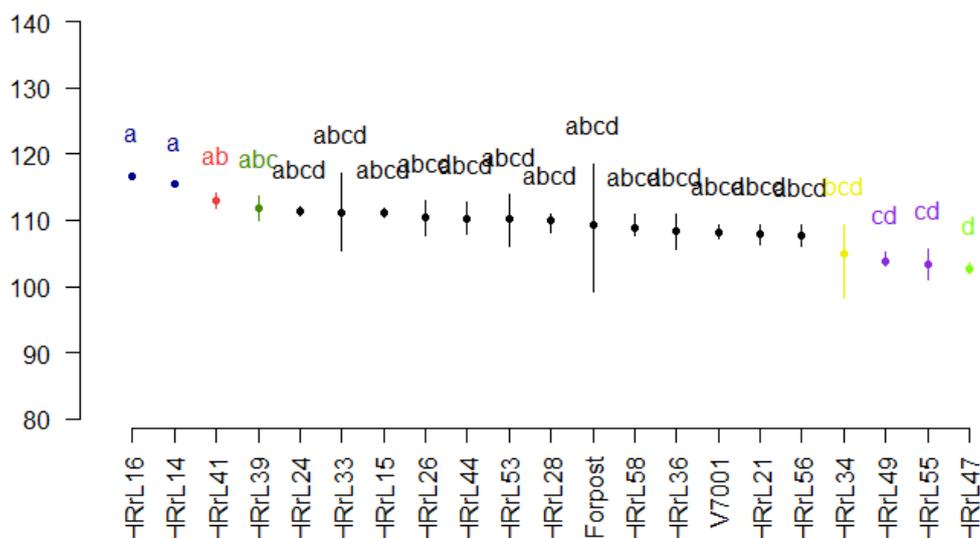


Рис. 1. Распределение имидазолиноустойчивых линий ярового рапса по группам на основании критерия Тьюки HSD-модели «Высота растений»  
Grouping of imidazolinone-resistant spring rape lines according to Tukey's HSD test in the "Plant Height" model

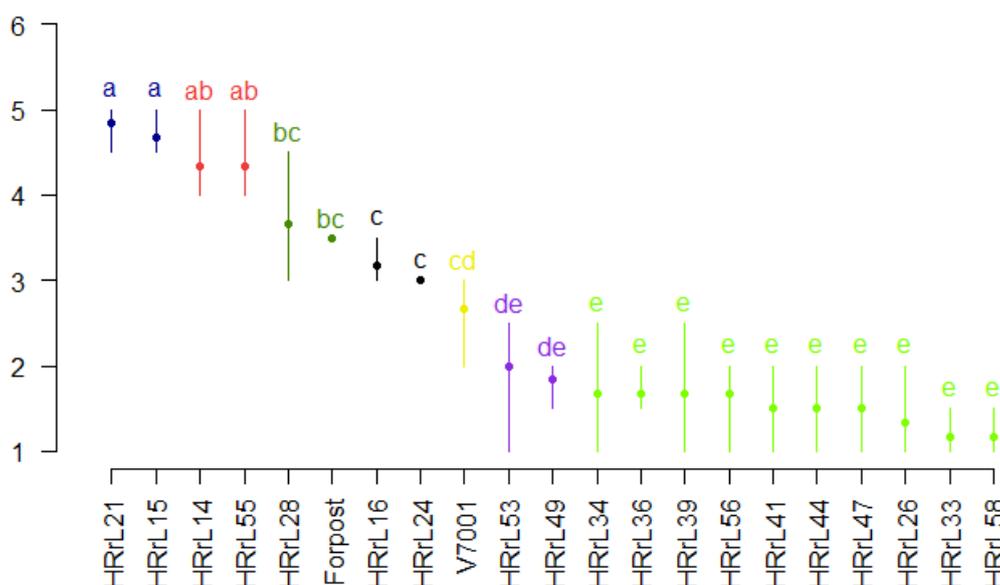


Рис. 2. Распределение имидазолиноустойчивых линий ярового рапса по группам на основании результатов SNK теста модели «Полегание стебля»  
Distribution of imidazolinone-resistant spring rapeseed lines into groups based on the results of the SNK test for the model "Stem lodging"

Дисперсионный анализ модели зависимости полегания стебля от генетических особенностей образцов и расположения по их блокам выявил сильную статистически значимую связь степени выраженности признака у обоих факторов ( $P\text{-value} \leq 2 \cdot 10^{-16}$ ,  $P\text{-value} = 0,000863$ ) (табл. 1),

все линии больше полегли во втором блоке (медианное значение – 1,5, интерквартильные размахи от 1 до 3 баллов), что по-видимому обусловлено рельефом опытного участка и его неравномерной защищенностью от порывов ветра (рис. 3).

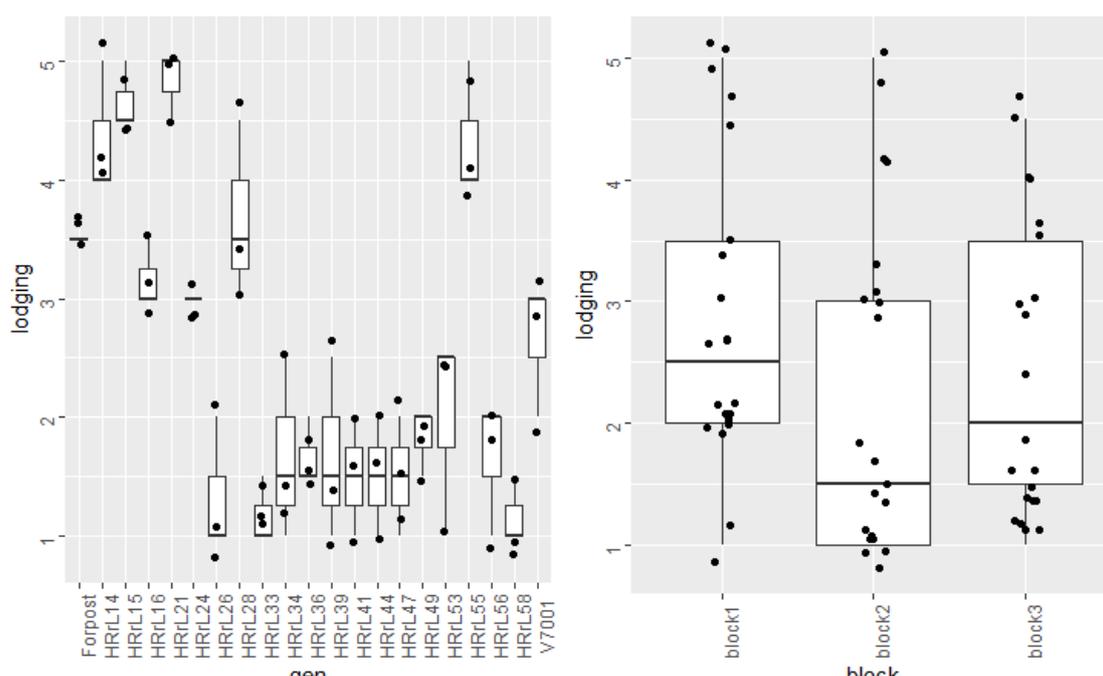


Рис. 3. Диаграммы размахов полегания «lodging» (в баллах визуальной оценки) имидазолиноустойчивых линий ярового рапса (слева), и суммарно по блокам (справа)  
 Box plots of stem lodging scores (visual evaluation grades) for imidazolinone-resistant spring rape lines (left) and summarized across blocks (right)

Таблица 1

**Результаты дисперсионного анализа статистической модели «Полегание стебля» имидазолиноустойчивых линий ярового рапса**  
**Results of ANOVA for the statistical model “Stem lodging” of imidazolinone-resistant spring rape lines**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr(>F)
Фактор «block»	2	3.27	1.635	8.46	0.000863***
Фактор «genotype»	20	93.98	4.699	24.32	< 2e-16***
Residuals	40	7.73	0.193		

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Большинство из 54 образцов линий HRrL показали высокую устойчивость к фузариозу: распространенность в пределах от 6,1 до 13,0 %, развитие болезни – от 1,3 до 4,1 %, для стандартного сорта Форпост КЛ – 9,5 и 3,5 % соответственно. За годы исследований наиболее интенсивно фузариоз проявлялся лишь в 2023 г., распространенность – 12,3–21,5 %, развитие – 6,8–12,4 %, что обусловлено избыточным увлажнением в течении всего вегетационного периода (рис. 9), однако, восприимчивых к болезни линий HRrL не выявлено.

Слабой восприимчивостью к альтернариозу характеризовалось большинство линий HRrL (распространенность в среднем составила 12,0 %, развитие болезни – 5,5 %) в то же время

не выделено и полностью иммунных к альтернариозу образцов, большая часть из них поражались на уровне сорта-стандарта.

Масса семян с одного растения (продуктивность) варьировала от низких значений (2,14 г) у линии HRrL47 до очень высоких (5,29 г) у стандарта V7001 CL, при среднем значении признака – 3,97 г. SNK метод (Стьюдент–Ньюман–Кеулс тест) множественных сравнений средних выявил наличие контрастных групп по данному признаку ( $P\text{-value} \leq 2 \cdot 10^{-16}$ ). К группе «а» с высокой массой семян с одного растения (более 4,15 г) отнесены 14 линий, к группе «bc, c» с низкой (2,14–3,4 г) – 6, стандарт Форпост КЛ – единственный образец со стабильно средней экспрессией признака (3,40 г) (рис. 4).

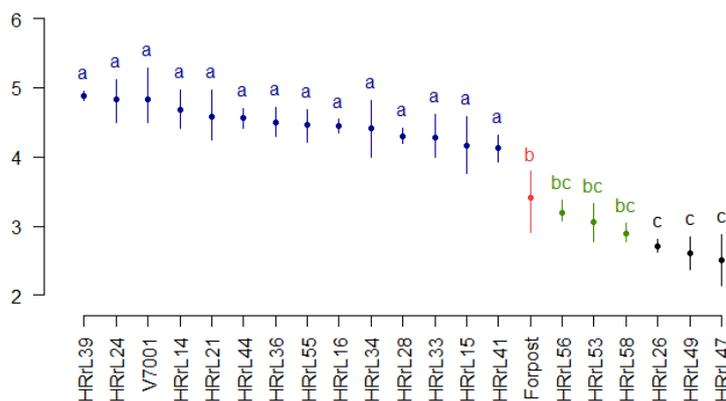


Рис. 4. Распределение имидазолиноустойчивых линий ярового рапса по группам на основании результатов SNK теста модели «Масса семян с одного растения»  
 Classification of imidazolinone-resistant spring rape lines based on the results of the SNK test for the model "Seed weight per plant"

Масса 1000 семян изменялась от 2,83 г у линии HRrL14, до 3,68 г у линии HRrL41. Среднее значение признака – 3,23 г, у стандарта Форпост КЛ – 3,31 г, у V7001 CL – 3,25 г. По результатам SNK теста ( $P\text{-value} \leq 2 \cdot 10^{-16}$ ) в группу крупносемянных линий «a/ ab/ b» (3,51... 3,68 г) отнесены: HRrL41, HRrL33, HRrL36, HRrL39 (рис 5). В меньшей степени признак варьировал в группе

среднекрупных образцов «с»: HRrL21, HRrL16, HRrL24, Форпост КЛ, HRrL56 (3,28...3,36 г), /широкие фенотипические ранги характеризовали наибольшую группу (9 образцов) линии «cd /.../fg» (3,03...3,25 г). Группа мелкосемянных образцов «g/h» отличалась стабильно низкой экспрессией массы 1000 семян (2,83...2,96 г) HRrL47, HRrL53, HRrL14.

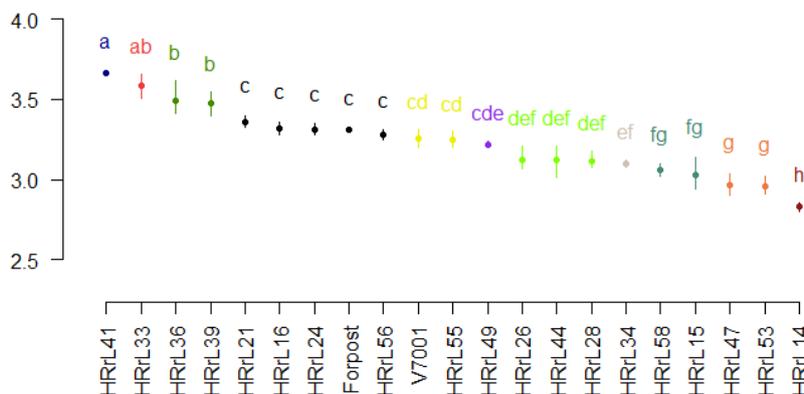


Рис. 5. Распределение имидазолиноустойчивых линий ярового рапса по группам на основании результатов SNK теста модели «Масса 1000 семян»  
 Grouping of imidazolinone-resistant spring rape lines based on the results of the SNK test for the model "Thousand Seed Weight"

Масличность семян линий HRrL в среднем составила 44,5 % и изменялась в пределах 43,0 % для линии HRrL49 до 46,3 % для линии HRrL33, масличность сорта стандарта Форпост КЛ составила 45,1 %, для V7001 – 44,8 %.

Среднее содержание глюкозинолатов в семенах линий HRrL составило 17,88 мкмоль/г, минимальное значение – 14,0, максимальное –

25,0. У стандарта Форпост КЛ составила 18,6 мкмоль/г, для V7001 CL – 15,8.

По содержанию белка в семенах образцы варьировали от 21,2 % у линии HRrL16 до – 27,5 у линии HRrL55 при медианном значении масличности в 24,3 %, стандарт Форпост КЛ показал среднее значение признака в 25,3 %, V7001 CL – 25,2 % (табл. 2).

## Сравнение среднего содержания глюкозинолатов, белка и масличность имидазолиноустойчивых линий HRrL в 2021–2023 гг.

## Comparison of average glucosinolate content, protein level, and oil content in imidazolinone-resistant HRrL lines during 2021–2023

Признак	X (среднее)	min	max	Форпост КЛ, St.	V7001 CL
Содержание глюкозинолатов, мкмоль/г	17,88	14,00	25,00	18,6	15,8
Содержание белка, %	24,25	21,19	27,54	25,25	25,19
Масличность семян, %	44,5	42,98	46,31	46,31	44,8

Стабильно экспрессируемое высокое содержание олеиновой кислоты в масле семян рапса (*Brassica napus* L.) является важной целью селекционных программ по данной культуре во всем мире [10, 11]. Большинство изученных образцов линий HRrL характеризовались повышенным содержанием олеиновой кислоты в масле, которое варьировало от 60,8 % у линии HRrL21 до 71,7 % у линии HRrL58, при среднем значении признака в 68,0 %, что превышает среднее значение сорта-стандарта Форпост КЛ

с традиционным жирнокислотным составом (67,3 %), но уступает высокоолеиновому стандарту V7001 CL (73,9 %). SNK метод выявил наличие контрастных групп по данному признаку ( $P\text{-value} = 2,61 \cdot 10^{-15}$ ). К группе «а» с высоким содержанием олеиновой кислоты (72,3...75,3 %) отнесен стандарт гибрид V7001 CL, к группам «b, bc» (70,0...73,7 %) линии HRrL56 и HRrL58, группа «bcd» 6 образцов со стабильно средней высокой экспрессией признака в пределах от 69,2 до 71,4 % (рис. 6).

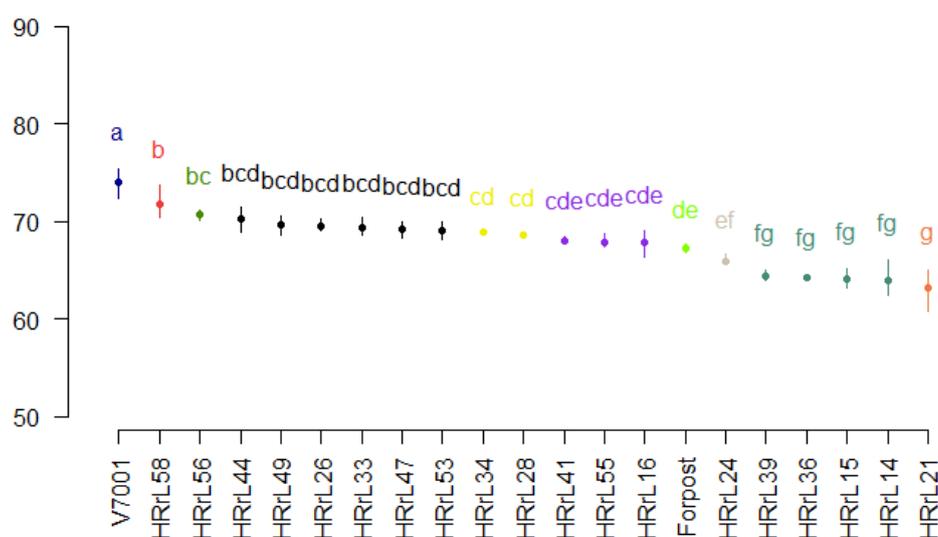


Рис. 6. Распределение имидазолиноустойчивых линий ярового рапса по группам на основании результатов SNK теста модели «Содержание олеиновой кислоты»  
Classification of imidazolinone-resistant spring rape lines based on the results of the SNK test for the model "Oleic Acid Content"

Урожайность ярового рапса в условиях лесостепи ЦЧР напрямую не зависит от количества осадков, выпавших в течение вегетационного периода, но имеет положительную тенденцию от их количества в мае, в период появления всходов, формирования корневой системы и розетки листьев. Известно, что на величину урожая и его стабильную экспрессию влияют

признаки, определяющие экологическую и морфологическую приспособленность образца к условиям выращивания. Масса семян с 1 м<sup>2</sup> изменялась от 144,4 г/м<sup>2</sup> у линии HRrL53 до 205,1 г/м<sup>2</sup> у линии HRrL36. Средняя урожайность – 182,3 г/м<sup>2</sup>, у стандартного сорта Форпост КЛ – 175,5 г/м<sup>2</sup>, у V7001 CL – 203,3 г/м<sup>2</sup> (рис. 7).

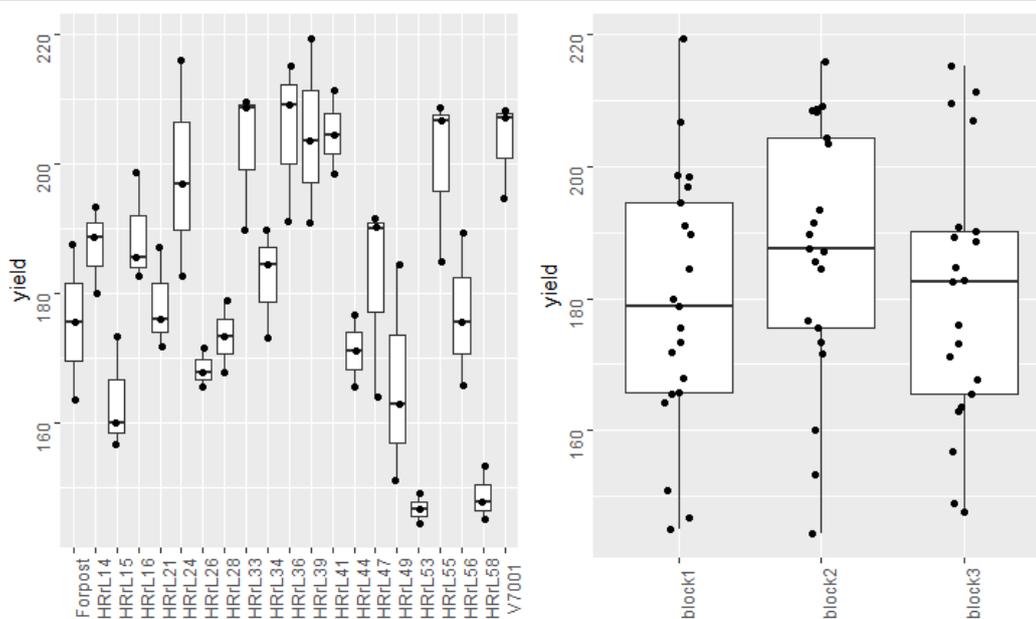


Рис. 7. Диаграммы размахов урожайности ( $г/м^2$ ) имидазолиноустойчивых линий ярового рапса (слева), и суммарно по блокам (справа)  
 Box plots of yield ( $г/м^2$ ) for imidazolinone-resistant spring rape lines (on the left) and aggregated across blocks (on the right)

Наглядная визуализация SNK теста статистической модели показывает достоверные различия по урожайности среди групп образцов: в группу «а» отнесены высокоурожайные (более  $203,5 г/м^2$ ) HRrL36, HRrL41, HRrL39, V7001; в

группу «ab, abc, abcd» урожайные HRrL33, HRrL55, HRrL24 ( $198,5...203,0 г/м^2$ ); среднеурожайные ( $151,0...197,0 г/м^2$ ) – 12 образцов; низкоурожайные (менее  $150 г/м^2$ ) «fg, g» HRrL58, HRrL53 (рис. 8).

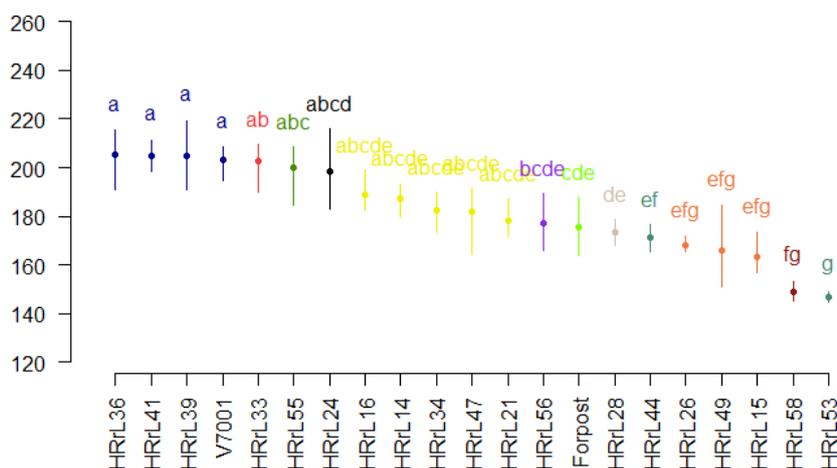


Рис. 8. Распределение имидазолиноустойчивых линий ярового рапса по группам на основании результатов SNK теста модели «Урожайность»  
 Group classification of imidazolinone-resistant spring rape lines based on the results of the SNK test for the "Yield" model

Дисперсионный анализ модели зависимости урожайности от генетических особенностей образцов и условий блока выявил сильную статис-

тически значимую связь степени выраженности признака в первом случае ( $P\text{-value} = 2,92 \cdot 10^{-10}$ ) (табл. 3).

**Результаты дисперсионного анализа статистической модели «Урожайность»  
имидазолиноустойчивых линий ярового рапса  
Results of ANOVA for the statistical model "Yield" applied to imidazolinone  
resistant spring rape lines**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr(>F)
Фактор «block»	2	792	396,0	4,225	0,0217*
Фактор «genotype»	20	19606	980,3	10,458	2,92 e-10***
Residuals	40	3750	93,7		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Погодные условия и их межгодовая вариативность. По данным метеорологической станции г. Липецка годы исследования значительно различались по погодным условиям. Острозасушливым и жарким ( $t_{\max} = 35,2$  °С) был

2021 г. (ГТК = 0,58) – за вегетационный период выпало 141 мм осадков, что составило 59,7 % от среднееголетней нормы (236 мм); 2022 г. был среднезасушливым – 86,0 % осадков от нормы (ГТК = 0,91) (рис. 9).

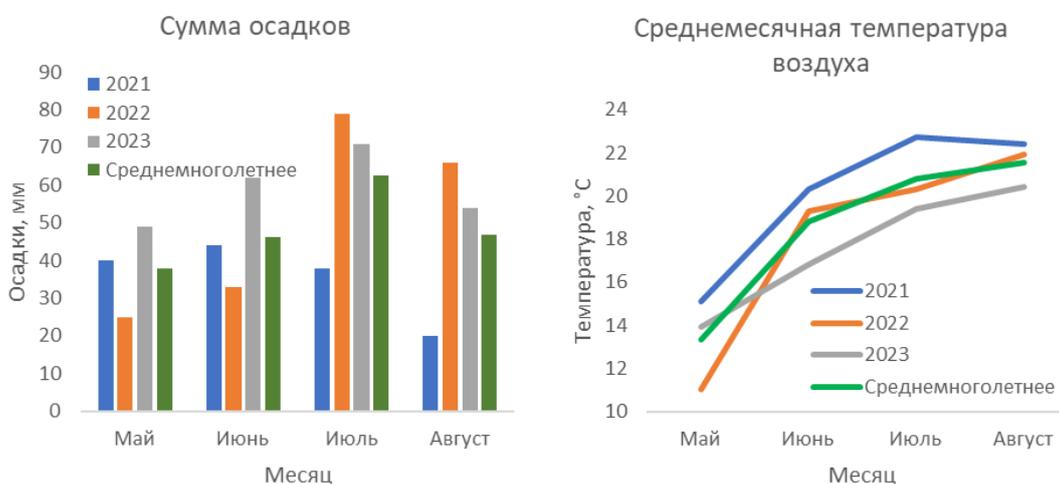


Рис. 9. Погодные условия г. Липецка (2021-2023 годы)  
Weather conditions in Lipetsk city (2021-2023).

Анализ погодных условий за 3 года исследований позволил отметить 2023 г., вегетационный период которого характеризовался избыточным увлажнением (114–134 % от многолетней нормы, ГТК = 1,25...1,47) и невысокой температурой воздуха с отклонением от среднееголетнего значения в +0,6...+2,0 °С, что положительно отразилось на росте и развитии растений рапса, семенной продуктивности, а также на некоторых качественных показателях семян.

Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности имидазолиноустойчивых линий ярового рапса сложились в 2023 г. (средняя урожайность в опыте – 221,2 г/м<sup>2</sup>, высота растений – 224,4 см, масса 1000 семян – 3,87 г), и 2022 г. (средняя урожайность в опы-

те – 184,9 г/м<sup>2</sup>, высота растений – 110,2 см, масса 1000 семян – 3,32 г) (рис. 10). Неблагоприятные условия 2021 г., такие как недостаток влагообеспеченности в июле и августе (42,9–60,7 % от нормы), а также рост среднемесячных температур на +0,9...+2,1 °С, привели к снижению средней урожайности до 159,6 г/м<sup>2</sup> и массе 1000 семян до среднего значения в 3,24 г, при средней высоте растений 100,5 см.

Для установления степени и направления связи между урожайностью (yield) линий HRrL ярового рапса и основными агробиологическими показателями: полегаемостью (lodging), весом семян с растения (weight per plants), массой 1000 семян (weight 1000) и высотой растения (height) выполнен корреляционный анализ по методу Спирмена (рис. 11).

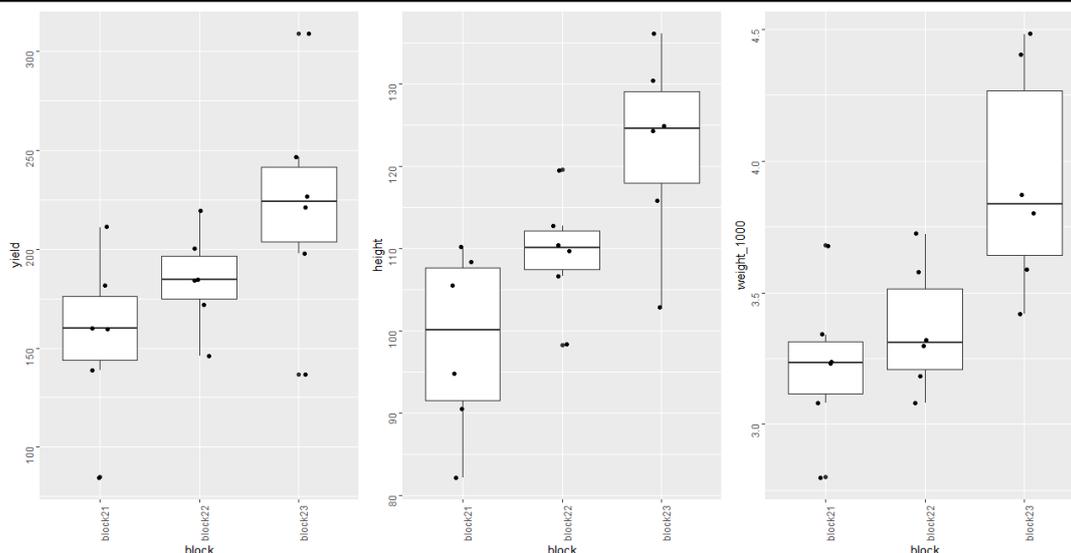


Рис. 10. Межгодовая вариабельность урожайности (yield), высоты растений (height) и массы 1000 семян (weight 1000) имидазолиноустойчивых линий ярового рапса HRrL  
 Interannual variability of yield (yield), plant height (height), and thousand seed weight (weight 1000) of imidazolinone-resistant spring rape lines HRrL

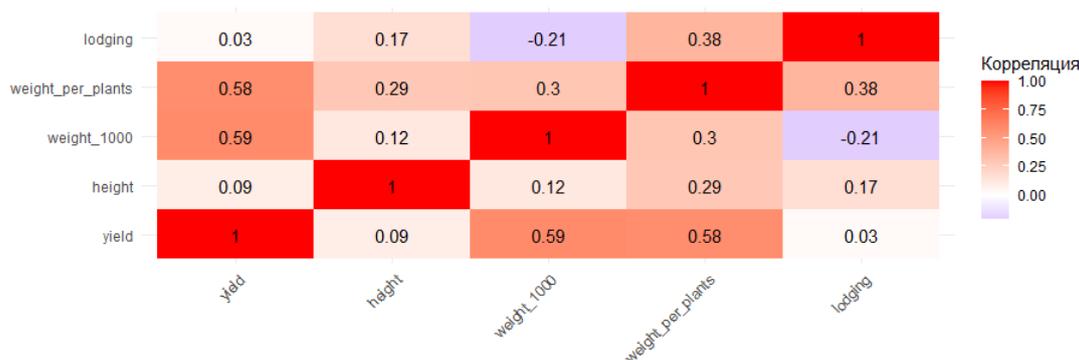


Рис. 11 Тепловая диаграмма коэффициентов парной корреляции урожайности и основных агробиологических показателей  
 Heat diagram of pair correlation coefficients of yield and main agrobiological indicators

В среднем за 3 года урожайность достоверно коррелировала с весом семян с одного растения ( $r = 0,58$ ) и массой 1000 семян ( $r = 0,59$ ), так же выявлена слабая положительная корреляция с высотой растения ( $r = 0,09$ ) и полегаетостью ( $r = 0,03$ ). Четкая положительная и достоверная связь прослеживается между весом семян с растения и высотой растения ( $r = 0,29$ ), полегаетостью ( $r = 0,38$ ), массой 1000 семян ( $r = 0,30$ ).

**Заключение.** Трехлетнее изучение линий HRrL ярового рапса в условиях Липецкой области выявило их реакцию на изменение гидротермического режима в период вегетации, опытные данные свидетельствуют о достоверном влиянии условий года на величины урожайности, высоту растений и массу 1000 семян.

Корреляционный анализ позволил оценить влияние элементов структуры урожая на формирование продуктивности линий. Урожай семян положительно коррелировал с массой 1000 семян и весом семян с одного растения.

Полученные статистические параметры основных хозяйственно ценных признаков имидазолиноустойчивых линий HRrL позволяют сделать вывод об эффективном отборе желаемых биотипов и использование их в качестве исходного материала в селекционных программах по созданию гербицидоустойчивых сортов ярового рапса.

Для дальнейшего ведения селекционной работы рекомендуем использовать линии HRrL41, HRrL33, HRrL36, HRrL39 в качестве источников

крупносемянности, источников высокоолеиновости – HRrL56 и HRrL58, устойчивости к полеганию – HRrL33, HRrL58. Для селекции на урожайность представляют интерес образцы HRrL36, HRrL41, HRrL39, выделившиеся по семенной продуктивности и устойчивости к полеганию.

#### Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики. Доступно по: <https://rosstat.gov.ru>. Ссылка активна на 01.06.2025.
2. Российский сельскохозяйственный центр. Доступно по: <https://rosselhoccenter.ru>. Ссылка активна на 01.06.2025.
3. Горшков В.И. Форпост КЛ – первый отечественный сорт ярового рапса, устойчивый к имидазолиновым гербицидам // Масличные культуры. 2023. Вып. 3. С. 108–113. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-3-195-108-113. EDN: WZEKJR.
4. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Баранов В.Ф., и др. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2010. 327 с. EDN: SIXBBD.
5. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Трунова В.М., и др. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 3. Исследования в опытах с рапсом) // Масличные культуры. 2023. № 3. С. 48–57. DOI 10.25230/2412-608X-2023-3-195-48-57. EDN: POQNYO.
6. Михина Н.Г., Бухонова Ю.В., Алехин В.Т. Мониторинг вредителей и болезней рапса и горчицы (методические указания). Воронеж: ВИЗР, 2020. 155 с.
7. Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Усовершенствованная методика определения содержания глюкозинолатов в семенах масличных культур семейства *Brassicaceae* // Масличные культуры. 2024. № 4. С. 45–51. DOI: 10.25230/2412-608X-2024-4-200-45-51. EDN: OTBVMT.
8. Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Усатенко Л.О. Определение содержания масла и основных жирных кислот семян рапса озимого с помощью ИК-спектроскопии // Масличные культуры. 2023. Вып. 2. С. 40–50. DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-40-50. EDN: PACOYR.
9. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра, 2014. 314 с.
10. Маркелова Н.Г., Карпачев В.В. Биохимическая оценка желтосемянных линий ярового рапса *Brassica napus* L. // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 19–25. DOI: 10.17513/use.37707. EDN: NZYOAM.
11. Горлова Л.А., Голова А.А., Стрельников Е.А., и др. Высокоолеиновый рапс: селекция сортов и гибридов во ВНИИМК. В сб.: Международная научная конференция, посвященной 100-летию кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева «Селекция и генетика культурных растений 2023». М., 2023. С. 95–98.

#### Reference

1. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. Available at: <https://rosstat.gov.ru>. Accessed: 01.06.2025. (In Russ.).
2. Rossijskij sel'skohozyajstvennyj centr. Available at: <https://rosselhoccenter.ru>. Accessed: 01.06.2025. (In Russ.).
3. Gorshkov VI. Forpost KL – is the first Russian spring rapeseed cultivar resistant to imidazolinone herbicides. *Oil Crops*. 2023;3:108-113. (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-3-195-108-113. EDN: WZEKJR.
4. Lukomec VM, Tishkov NM, Baranov VF, et al. *Metodika provedeniya polevyh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami*. Krasnodar: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut maslichnyh kul'tur im. V.S. Pustovojta; 2010. 327 p. (In Russ.). EDN: SIXBBD.

5. Lukomec VM, Tishkov NM, Trunova MV, et al. Methodology of agricultural and technical investigations in experiments with oil crops (Report III. Experiments with rapeseed). *Oil Crops*. 2023;3:48-57. (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-3-195-48-57. EDN: POQNYO.
6. Mihina NG, Buhonova YuV, Alekhin VT. *Monitoring vreditel'ej i boleznej rapsa i gorchicy (metodicheskie ukazaniya)*. Voronezh: VIZR; 2020. 155 p. (In Russ.).
7. Efimenko SG, Efimenko SK. An improved method for determining glucosinolate content in Brassicaceae oil crops. *Oil Crops*. 2024;4:45-51. (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2024-4-200-45-51. EDN: OTBVMT.
8. Efimenko SG, Efimenko SK, Usatenko LO. The determination of oil content and the main fatty acid contents in oil of winter rapeseed seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops*. 2023;2:40-50. (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2023-2-194-40-50. EDN: PACOYR.
9. Shitikov VK, Rozenberg GS. *Randomizaciya i butstrep: statisticheskij analiz v biologii i ekologii s ispol'zovaniem R. Tol'yatti*: Kassandra; 2014. 314 p. (In Russ.).
10. Markelova NG, Karpachev VV. Biochemical assessment of yellow spring rape *Brassica napus* L. seed lines. *Advances in current natural sciences*. 2021;11:19-25. (In Russ.). DOI: 10.17513/use.37707. EDN: NZYOAM.
11. Gorlova LA, Golova AA, Strelnikov EA, et al. High oleic rapeseed: selection of varieties and hybrids at VNIIMK. In: *International scientific conference dedicated to the 100th anniversary of the Department of genetics, breeding and seed production of K.A. Timiryazev RGAU-MSHA*. Moscow; 2023. P. 95–98. (In Russ.). EDN: QQWDGN.

Статья принята к публикации 19.01.2026 / The article accepted for publication 19.01.2026.

Информация об авторах:

**Нина Георгиевна Маркелова**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства рапса

**Людмила Николаевна Сибирная**, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства рапса, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

**Nina Georgievna Markelova**, Junior Researcher, Rapeseed Selection and Seed Production Laboratory  
**Lyudmila Nikolaevna Sibirnaya**, Senior Researcher, Rapeseed Selection and Seed Production Laboratory, Candidate of Agricultural Sciences

