

# ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.367.2:543.42

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-99-108



## Экспресс-оценка основных показателей хозяйственной ценности в образцах муки люпина узколистного с помощью ИК-спектроскопии

В. С. Попов, А. В. Саликова, И. Н. Перчук, Н. Г. Конькова, Г. П. Егорова, М. А. Вишнякова, Т. В. Шеленга

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Татьяна Васильевна Шеленга, [tatianashelenga@yandex.ru](mailto:tatianashelenga@yandex.ru)

**Актуальность.** Разработана калибровочная модель для экспресс-оценки хозяйственно ценных показателей (содержание белка, масла, хинолизидиновых алкалоидов) в семенах люпина узколистного из коллекции ВИР методом спектроскопии в ближней инфракрасной области спектра, с помощью которой возможно определить направление дальнейшего использования образцов.

**Материалы и методы.** Биохимические показатели качества (содержание белка, масла, хинолизидиновых алкалоидов) изучали в семенах люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.), выращенного в 2019 г. на северо-западе Российской Федерации. Градуировочные модели по определению белка, масла и алкалоидов в семенах люпина (62 образца) разработаны с использованием ИК-анализатора MATRIX-I (Bruker Optics, Германия). Для построения градуировочных моделей использовали значения, полученные химическими методами анализа, принятыми в ВИР. Содержание масла в семенах люпина определяли методом сухого обезжиренного остатка в аппаратах Сокслета, белка – методом Кьельдаля, хинолизидиновых алкалоидов – газовой хроматографией, сопряженной с масс-спектрометрией. Все показатели пересчитывали на сухой вещество образца.

**Результаты и заключение.** Достоверность разработанных моделей проверяли по результатам определения содержания белка, масла и алкалоидов у семян проверочной партии. Данные по содержанию белка и масла, полученные с помощью калибровочной кривой, не имели достоверных различий с результатами химических исследований, в отличие от показателей алкалоидов. Следовательно, разработанная калибровочная модель для ИК-анализатора MATRIX-I может быть использована для экспресс-оценки содержания белка и масла в образцах муки люпина узколистного, что позволяет ускорить процесс получения данных по основным хозяйственно ценным показателям. Проведение анализа не требует реактивов и является безопасным.

**Ключевые слова:** люпин, калибровочная модель, метод ИК-спектроскопии, белок, масло, алкалоиды

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства».

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

**Для цитирования:** Попов В.С., Саликова А.В., Перчук И.Н., Конькова Н.Г., Егорова Г.П., Вишнякова М.А., Шеленга Т.В. Экспресс-оценка основных показателей хозяйственной ценности в образцах муки люпина узколистного с помощью ИК-спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):99-108. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-99-108

## STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-99-108

### Rapid assessment of the main economic value indicators in lupine flour samples using infrared spectroscopy

Vitaliy S. Popov, Aleksandra V. Salikova, Irina N. Perchuk, Nina G. Konkova, Galina P. Egorova,  
Margarita A. Vishnyakova, Tatiana V. Shelenga

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia*

**Corresponding author:** Tatiana V. Shelenga, [tatianashelenga@yandex.ru](mailto:tatianashelenga@yandex.ru)

**Background.** A calibration model has been developed for rapid assessment of economic value indicators (protein, oil, and quinolizidine alkaloid contents) in the seeds of narrowleaf lupine accessions from VIR using near-infrared spectroscopy, with the help of which it is possible to decide on the further use of the accessions.

**Materials and methods.** Biochemical quality indicators (protein, oil, and quinolizidine alkaloid content) were studied in the seeds of narrowleaf lupine (*Lupinus angustifolius* L.) grown in 2019 in the northwest of Russia. Calibration models for measuring protein, oil and alkaloids in lupine seeds (62 accessions) were developed using a MATRIX-I IR analyzer (Bruker Optics, Germany). To construct calibration models, we used the values obtained by chemical analysis methods accepted at VIR. The oil content in lupine seeds was assessed by the defatted dry residue technique in Soxhlet extractors, protein by the Kjeldahl method, and quinolizidine alkaloids by gas chromatography coupled with mass spectrometry. All indicators were recalculated on the dry-weight basis.

**Results and conclusion.** Statistical significance of the developed models was verified according to the results of measuring the content of protein, oil and alkaloids in the seeds of the test batch. The protein and oil content data obtained using a calibration curve did not differ significantly from the results of chemical studies, in contrast to alkaloid indicators. Consequently, the developed calibration model for the MATRIX-I IR analyzer can be used for rapid assessment of protein and oil content in narrowleaf lupine flour samples, thus accelerating the process of obtaining data on the main economic value indicators. The analysis does not require reagents and is safe.

**Keywords:** lupine, calibration model, IR spectroscopy, protein, oil, alkaloids

**Acknowledgments:** the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0002 "Identifying possibilities in the genetic diversity of leguminous crops to optimize their breeding and diversify uses in various sectors of the national economy".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Popov V.S., Salikova A.V., Perchuk I.N., Konkova N.G., Egorova G.P., Vishnyakova M.A., Shelenga T.V. Rapid assessment of the main economic value indicators in lupine flour samples using infrared spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(1):99-108. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-99-108

## Введение

Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) – перспективная и высокоадаптивная зернобобовая культура, подходящая для различных направлений использования. Значительное содержание белка (32–38%) и масла (5,0–6,5%) (Naumkin et al., 2009), учитывая аминокислотный и жирнокислотный состав, делает культуру привлекательной для использования в качестве высокобелковой кормовой добавки в животноводстве, расширения линейки продуктов здорового питания, включая вегетарианскую диету (Ageeva et al., 2018). Ограничением для пищевого и кормового использования является возможность накопления в семенах люпина узколистного значительных количеств хинолизидиновых алкалоидов. Высокоалкалоидные сорта (с содержанием алкалоидов более 40 мг/100 г) широко используются в качестве сырья для изготовления лекарственных препаратов (Timoshenko et al., 2022). Таким образом, биологическая ценность и направление использования люпина узколистного определяется его биохимическим составом.

Коллекция генетических ресурсов люпина узколистного ВИР представлена низко- и высокоалкалоидными формами диких, местных и селекционных образцов из разных стран мира. Изучение биохимического состава коллекционного материала дает возможность выявить образцы – источники хозяйственно ценных признаков, которые можно непосредственно использовать для кормовых, пищевых и фармакологических целей, в том числе включать в селекционные программы по созданию новых сортов люпина узколистного с улучшенным биохимическим составом для различных целей использования.

В связи с вышесказанным контроль за основными хозяйственно ценными показателями семян люпина узколистного является одним из ключевых звеньев для определения направления использования того или иного образца. Рутинным методом изучения содержания белка в растительных объектах является метод Кьельдаля, содержания масла – по сухому обезжиренному остатку в аппаратах Сокслета. Качественный и количественный состав хинолизидиновых алкалоидов в ВИР определяется по недавно разработанному методу (Kushnareva et al., 2020). Однако для изучения большого количества образцов семян и муки различных культур применяется спектроскопия в ближней области инфракрасного спектра (БИК) с использованием ИК-анализаторов, таких как Matrix-I (Bruker, Германия) (Burns, Ciurczak, 2007; Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Abd Manaf, Yap, 2018; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019). Метод основан на возбуждении колебания молекул при прохождении ИК-излучения через образец (Wheeler, 1959; Vaccari et al., 1990; Burns, Ciurczak, 2007; Abd Manaf, Yap, 2018) и характеристиках процесса возбуждения, которые зависят от особенностей сканируемого материала. Зависимость свойств индивидуальных ИК-спектров от данных, полученных другими аналитическими методами посредством программного обеспечения, сопровождающего ИК-анализаторы, дают возможность получить калибровочные кривые, которые можно использовать для экспресс-анализа образцов (семян, муки и т. д.) (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Abd Manaf, Yap, 2018; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019). В текущей работе была апробирована возможность использования метода ИК-спектроскопии для оценки содержания белка и масла, отдельных ал-

калоидов и их суммы в муке семян высоко- и низкоалкалоидных форм люпина узколистного.

Целью данной работы явилась разработка градуировочных моделей для оценки основных показателей хозяйственной ценности (содержание масла, белка, общее содержание хинолизидиновых алкалоидов, содержание отдельных алкалоидов: люпанина, гидроксилупанина, спартеина, изолупанина и ангустифолина) в муке образцов люпина узколистного (всего 62 образца). Проведена апробация полученных калибровочных кривых и оценка достоверности результатов, полученных с применением ИК-анализатора Matrix-I.

Ценность полученных калибровочных кривых состоит в снижении стоимости скрининга образцов люпина узколистного по основным показателям хозяйственной ценности (белок, масло, содержание алкалоидов), увеличении производительности труда (рост количества образцов, анализируемых за единицу рабочего времени). При необходимости разработанные ИК-модели калибровочных кривых возможно обновлять и дополнять новыми данными, полученными для образцов последующих лет репродукций, что дает возможность увеличения достоверности результатов ИК-калибровочных кривых. В дальнейшем необходим переход на зерновой модуль, что важно для сохранения ценного селекционного материала.

## Материалы и методы

Объектом для построения калибровки служила выборка из 62 образцов люпина узколистного из коллекции ВИР (32 высокоалкалоидные формы и 30 низкоалкалоидных) (табл. 1). Все образцы выращивались в 2019 г. в условиях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» согласно методике, принятой для зернобобовых культур (Vishnyakova et al., 2018). Район выращивания относится к атлантического континентальной области умеренного климатического пояса. Сумма активных температур в год репродукции составила 1966°C, осадки – 175 мм, что соответствует типичным климатическим показателям региона.

Семена люпина узколистного предварительно измельчались на лабораторной мельнице Lab mill-1 (Labor tim, Венгрия) до состояния мелкодисперсной муки с размером частиц до 10 мкм. Образцы муки массой 40–50 г хранились в металлических коробках при комнатной температуре от 3 до 5 дней до проведения анализа. Биохимический анализ проводился в отделе биохимии и молекулярной биологии по методикам, принятым в ВИР (Ermakov et al., 1987).

Содержание белка определялось по методу Кьельдаля на автоматическом анализаторе белка VELP SCIENTIFICA UDK 159 (VELP, Италия). Общее содержание белка рассчитывалось по общему содержанию азота с коэффициентом 6.25. Содержание масла изучалось по массе сухого обезжиренного остатка с использованием аппарата Сокслета. Содержание алкалоидов определялось в экстрактах из образцов муки люпина узколистного, полученных добавлением этилацетата и водного раствора NaOH, на газовом хроматографе Agilent 6850, сопряженном с масс-спектрометром Agilent 5975 (Agilent Technologies, США). Значения показателей выражались в процентах на сухое вещество.

Спектры образцов муки люпина узколистного (высоко- и низкоалкалоидные формы) регистрировались в диапазоне 4000–10 500 см<sup>-1</sup> с разрешением 16 см<sup>-1</sup> в соот-

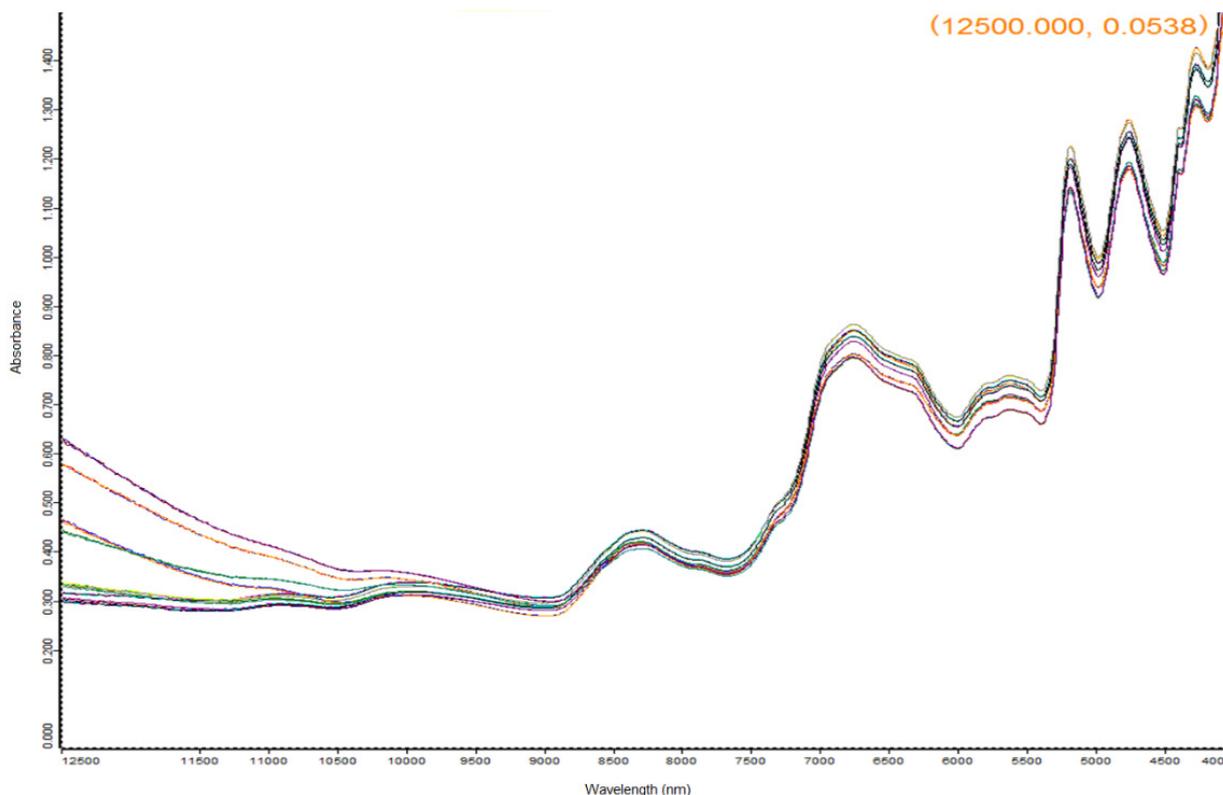
**Таблица 1.** Список образцов *Lupinus angustifolius* L. из коллекции ВИР, взятых в исследование  
**Table 1.** List of *Lupinus angustifolius* L. accessions from the VIR collection selected for the study

№ по каталогу ВИР	Название	Происхождение	№ по каталогу ВИР	Название	Происхождение
96		Украина	3562	SLAPSKA	Чехословакия
140		Шотландия	3563	ROMMEL	ЮАР
1344	С-63	Россия	3565	STEVENS	ЮАР
1526	МЕСТНЫЙ	Украина	3605	SCHLOETENITZER ROTE	Германия
1546		Франция	3607	NS 028 B	Испания
2121	LA1	Польша	3623	18 86A250-2-4 EX LR2	Австралия
2183	IGRIS	Польша	3627	ДИКАФ-1	Россия
2248	№104	Россия	3628	ДИКАФ-11	Россия
2265	VIETEJE AILE	Латвия	3694	СНЕЖЕТЬ	Россия
2438	12-65-3-М (BITTER)	Великобритания	3758	16 85 A 198-118	Австралия
2570	MIRELA	Польша	3761	BOLIVIO	Германия
2662	EMIR	Польша	3779	84 S 065-26-7-3	Австралия
2831	ЛАФ-РБС/2	Беларусь	3784	84 S 065-47-1-1	Австралия
2856	AFRICA DE SUC	Африка	3804	СМЕНА	Россия
2868	LUP 155/80	Франция	3814	ОЛИГАРХ	Россия
2949	ДАНКО	Беларусь	3816	ЛАДНЫЙ 7	Россия
3048	81 А/105-3	Австралия	3842	ВЛАДЛЕН	Беларусь
3059	GUNGURRU	Австралия	3918	ГЕРКУЛЕС	Беларусь
3062	75 А/327	Австралия	3920	ЖОДЗИНСКИ	Беларусь
3064	75 А/330	Австралия	3922	ЛИПЕНЬ	Беларусь
3172	ГЛ-396	Беларусь	3923	МИТАН	Беларусь
3327	ТИМИРЯЗЕВСКИЙ 2	Россия	3926	РАННИ	Беларусь
3329	ЛИНИЯ 7	Россия	3929	СИНИЙ 16	Беларусь
3456	GS 178D	Испания	3932	ЩУЧИНСКИЙ 470	Беларусь
3457	GRC-5008 A	Греция	3939	СИДЕРАТ 46	Россия
3502	L-155	Польша	3947	БСЦ 15-14	Россия
3503	МУТАНТ 2	Россия	3949	СН 78-07	Россия
3508	БРЯНСКИЙ 268	Россия	1534		Литва
3526	БСХА-490	Беларусь	3455	G 077	Италия
3528	БСХА-506	Беларусь	3805	ВЕКТОР	Россия
3556	GRC-5060A	Греция	3832	ЯН	Беларусь

ветствии с руководством для ИК-спектрометра Matrix-I (рис. 1). Спектры для каждого образца регистрировались в трех повторностях с пересыпанием муки образца в кювете диаметром 51 мм (навеска 20–30 г). В результате получено 186 спектров, из них 96 для высокоалкалоидных и 90 для низкоалкалоидных форм люпина узколистного. С использованием полученных спектров методом векторной нормализации были построены градуировочные модели по определению общего содержания алкалоидов, отдельных алкалоидов: люпанина (рис. 2), гидроксилупанина, ангустифолина (рис. 3), изолюпанина, спартеина, суммарное содержание хинолизидиновых алкалоидов (рис. 4), белка (рис. 5), масла (рис. 6). Определение спектральных особенностей, обработка биохимических данных, построение моделей калибровочных кривых осуществлялись с помощью программного обеспечения OPUS Software.

Так как калибровочные кривые, построенные для отдельных алкалоидов и их общего содержания, имеют примерно одинаковые характеристики, то в тексте приводится описание калибровочных моделей для люпанина, ангустифолина и суммы хинолизидиновых алкалоидов (см. рис. 2, 3, 4).

На рисунках 2, 3 и 4 представлены калибровочные кривые для люпанина, ангустифолина и общего содержания алкалоидов в муке люпина узколистного. Предсказанные значения трех повторностей имели малую дисперсию, большая часть значений группировалась в левом нижнем углу, остальные значения были рассеяны вдоль оси X (см. рис. 2, 3, 4). Зеленым отмечены учтенные, красным – неучтенные значения содержания алкалоидов в образцах муки из семян люпина узколистного.



**Рис. 1.** ИК-спектры образцов муки высоко- и низкоалкалоидных форм *Lupinus angustifolius* L.

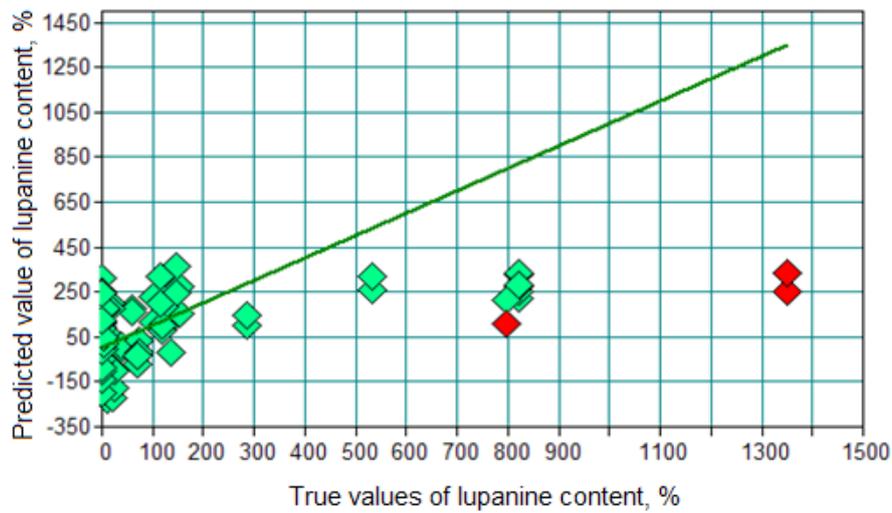
**Fig. 1.** IR spectra of flour samples from high- and low-alkaloid forms of *Lupinus angustifolius* L.

### Результаты и их обсуждение

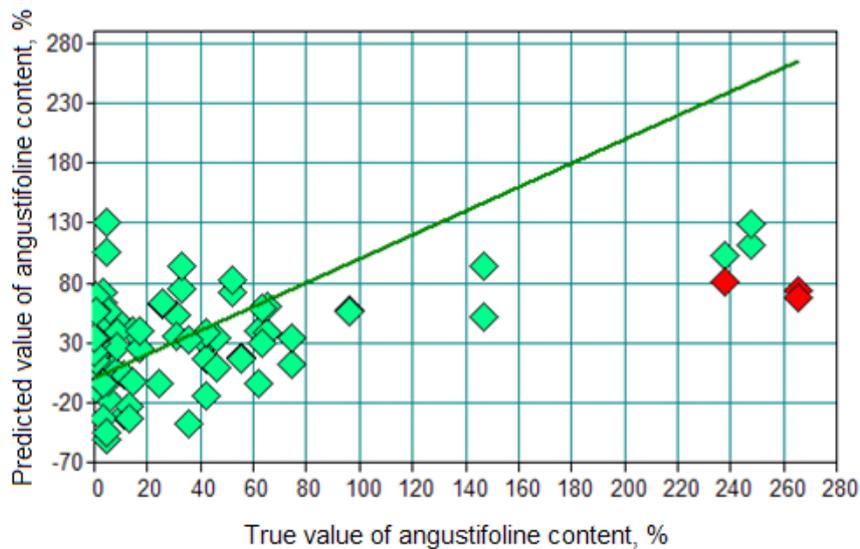
Общее содержание хинолизидиновых алкалоидов и показатели отдельных алкалоидов существенно влияют на направление использования каждого образца люпина узколистного. Для разработки градуировочных моделей необходимо установить зависимость содержания алкалоидов (мг/100г) в образцах муки семян люпина узколистного от характеристик спектров соответствующих образцов муки. Взаимосвязь устанавливается автоматически с помощью программного обеспечения OPUS.

По результатам анализа диапазон изменчивости алкалоидов составил: люпанина – от 1569,81 до 1,6; ангустифолина – от 35,33 до 0,04; гидроксилупанина – от 273,73 до 0,3; спартеина – от 173,16 до 0,2; изолюпанина – от 23,76 до 0,02 мг/100 г. Сумма алкалоидов – от 2013,45 до 2,01 мг/100 г.

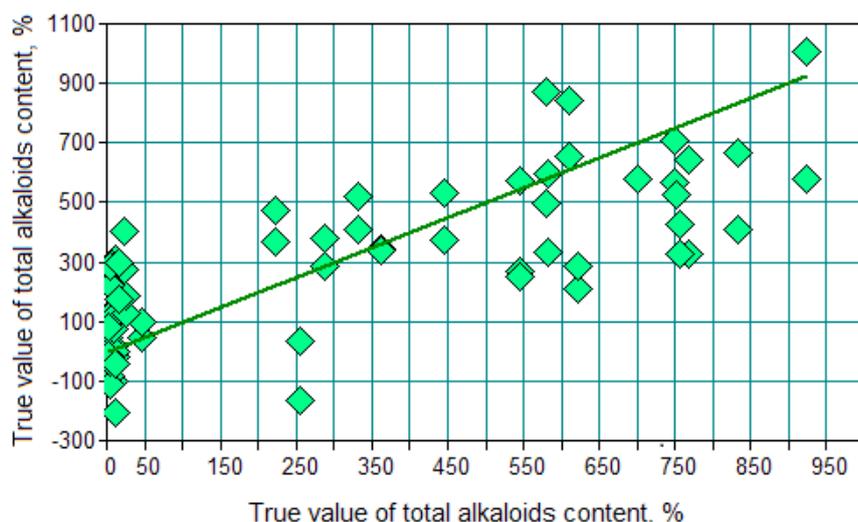
Полученные модели для люпанина и ангустифолина имели очень низкие значения коэффициента детерминации ( $R^2$ ): 22,66 и 21,29 при 5 и 3 рангах в многофакторном анализе соответственно. Несколько лучший результат показала модель, полученная для суммы хинолизидиновых алкалоидов:  $R^2 = 54,48$  при 7 рангах. Среднеквадратичная ошибка прогнозирования (RMSEP) составила 262% для люпанина, 57,2% для ангустифолина и 211% для суммы алкалоидов. Следовательно, при использовании данных моделей для измерения содержания алкалоидов в муке люпина узколистного совпадение предсказанных значений с истинными невозможно. Показатель RPD (остаточное отклонение прогноза, или значение остаточного отклонения прогноза для ранга) разработанной калибровочной модели оценивает стабильность полученной зависимости, BIAS (показатель смещения, или статистической предвзятости) демонстрирует,



**Рис. 2.** График предсказанных значений содержания люпина (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно градуировочной модели «Люпин узколистный. Люпанин»  
**Fig. 2.** Graph of predicted lupanine content values (Y-axis) compared to true values (X-axis) according to the calibration model “Narrowleaf lupine. Lupanine”

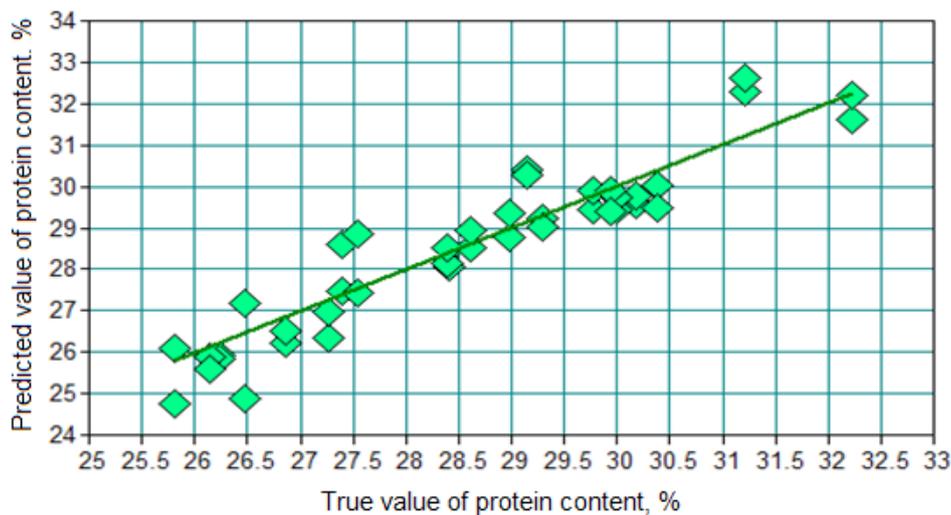


**Рис. 3.** График предсказанных значений содержания ангустифолина (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно градуировочной модели «Люпин узколистный. Ангустифолин»  
**Fig. 3.** Graph of predicted angustifoline content values (Y-axis) compared to true values (X-axis) according to the calibration model “Narrowleaf lupine. Angustifoline”



**Рис. 4.** График предсказанных значений суммарного содержания хинолизидиновых алкалоидов (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно градуировочной модели «Люпин узколистный. Сумма хинолизидиновых алкалоидов»

**Fig. 4.** Graph of predicted total quinolizidine alkaloid content values (Y-axis) compared to true values (X-axis) according to the calibration model “Narrowleaf lupine. Total quinolizidine alkaloids”



**Рис. 5.** График предсказанных значений содержания белка (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно градуировочной модели «Люпин узколистный. Белок»

**Fig. 5.** Graph of predicted protein content values (Y-axis) compared to true values (X-axis) according to the calibration model “Narrowleaf lupine. Protein”

насколько существенно отклоняется прогнозируемое значение от истинного. Для калибровочных моделей люпина, ангустифолина и суммы алкалоидов RPD равнялся 1,17; 1,13 и 1,48; BIAS соответствовал 63,2; 64,9 и -1,45, что свидетельствует о возможности значительного отклонения результатов, полученных с помощью построенной модели, от реальных значений (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019).

Таким образом, полученные модели калибровочных кривых не подходят для изучения содержания хинолизидиновых алкалоидов в муке люпина узколистного, однако характеристики калибровочной модели, полученной для суммы хинолизидиновых алкалоидов, позволяет предположить, что при расширении калибровочной кривой (увеличении количества образцов, включенных в модель) достоверность полученных с ее помощью результатов будет возрастать. В ходе проведенного эксперимента установлено, что использование ИК-калибровочной кривой для определения содержания хинолизидиновых алкалоидов в образцах муки люпина узколистного нецелесообразно.

Для низкоалкалоидных форм люпина узколистного существенное значение имеют показатели пищевой и кормовой ценности. К таким параметрам для люпина узколистного относятся содержание белка и масла. Для построения калибровочной модели по определению белка и масла было отобрано 30 образцов семян люпина узколистного с низким содержанием алкалоидов. Диапазон варьирования белка в изученной выборке оказался от 27,8 до 34,7%, масла – от 3,3 до 6,0%. Используя ИК-спектры и результаты анализа содержания белка и масла, полученные для муки низкоалкалоидных образцов люпина узколистного, были построены соответствующие градуировочные модели (рис. 5, 6).

На рисунках 5 и 6 представлены калибровочные модели для определения содержания белка и масла в муке люпина узколистного. Прогнозируемые значения трех повторностей демонстрировали небольшую дисперсию и располагались либо на калибровочной линии, либо ря-

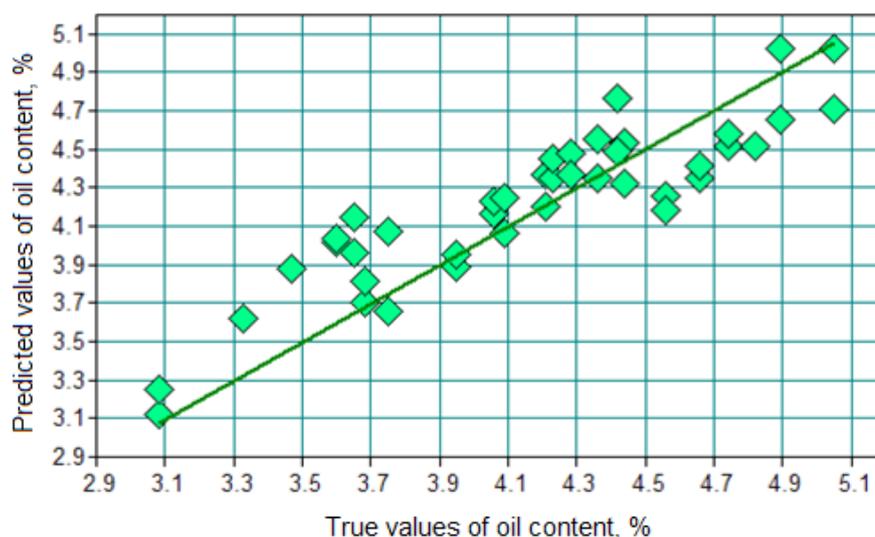
дом с ней. Модели, полученные для белка и масла, имели достаточно высокий коэффициент детерминации (85,02 и 78,53) с 12 и 11 рангами при многомерном анализе соответственно. RMSEP для них составляла 0,67 и 0,235%, что дает надежную повторяемость полученных результатов; RPD – 2,5 и 2,22 соответственно, что говорит об «удовлетворительном качестве» построенных калибровочных моделей (Efimenko et al., 2015; Efimenko et al., 2016; Efimenko S.G., Efimenko S.K., 2019); BIAS – 0,0728 и -0,0557 соответственно, что подтверждает практически полное совпадение реальных результатов с результатами, полученными с помощью построенных моделей.

Для подтверждения достоверности показателей белка и масла, полученных с помощью построенной калибровочной модели, была проведена сверка данных химического анализа и ИК-спектроскопии на контрольной выборке образцов семян люпина узколистного (табл. 2).

Различия между ИК показаниями и химическими анализами по содержанию белка и масла в среднем составили 0,51 и 0,87%. Расхождение составило менее 1%, с максимальной ошибкой в единичных определениях до 1%, что укладывается в рамки технической погрешности прибора Matrix-I.

## Заключение

Таким образом, разработанные в программе OPUS LAB калибровочные модели для определения содержания белка и масла в муке из семян люпина узколистного позволяют оценивать селекционный материал с точностью до 1% и подходят для рутинного анализа. Это позволяет оперативно проводить предварительную оценку селекционного материала одновременно по двум показателям (содержание белка и масла) в примерно 100 образцах за рабочую смену. Следовательно, калибровочные кривые для экспресс-оценки содержания белка и масла в муке низкоалкалоидных образцов люпина узколистного могут быть рекомендованы для дальнейшего использования.



**Рис. 6.** График предсказанных значений содержания масла (ось Y) по сравнению с истинными значениями (ось X) согласно градуировочной модели «Люпин узколистный. Масло»

**Fig. 6.** Graph of predicted oil content values (Y-axis) compared to true values (X-axis) according to the calibration model "Narrowleaf lupine. Oil"

**Таблица 2. Проверка ИК-градуировочной модели для определения содержания белка и масла в образцах муки семян люпина узколистного из коллекции ВИР**

**Table 2. Testing of the IR calibration model for measuring protein and oil content in flour samples from the seeds of *Lupinus angustifolius* L. accessions preserved in the VIR collection**

Признак	N	$X_1 \pm S_e$	$X_2 \pm S_e$	Разница
Белок	48	33,46 ± 0,251	34,97 ± 0,51	0,51
Масло	48	4,72 ± 0,139	6,84 ± 1,52	0,87

Примечание:  $X_1$  – средняя значений, полученных с помощью методов биохимического анализа;  $X_2$  – средняя значений, полученных с помощью модельных калибровочных кривых;  $S_e$  – стандартное отклонение

Note:  $X_1$  is the mean of the values obtained with biochemical methods;  $X_2$  is the mean of the values obtained with the model calibration curves;  $S_e$  is the standard deviation

**References / Литература**

Abd Manaf F.Y., Yap A.K.C. Automatic crude oil dilution control with premium oil segregation using near infrared (NIR) on-line system. *Journal of Oil Palm Research*. 2018;30(2):2-9. DOI: 10.21894/jopr.2018.0012

Ageeva P.A., Pochutina N.A., Pigareva S.A. Comparative characteristics of grain and green mass quality of fodder narrow-leaved lupin varieties. *Adaptive Fodder Production*. 2018;(1):42-48. [in Russian] (Агеева П.А., Почутина Н.А., Пигарева С.А. Сравнительная характеристика кормовых сортов узколистного люпина по качеству зерна и зеленой массы. *Адаптивное кормопроизводство*. 2018;(1):42-48).

Burns D.A., Ciurczak E.W. (eds). Handbook of near-infrared analysis. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2007. DOI: 10.1201/9781420007374

Efimenko S.G., Efimenko S.K. Determination of oil and moisture contents in mustard seeds using IR spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2019;4(180):36-44. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К. Определение содержания масла и влаги в семенах горчицы с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2019;4(180):36-44). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-36-44

Efimenko S.G., Efimenko S.K., Kucherenko L.A., Nagalevskaia Ya.A. Quick-assay of the content of the main fatty acids in oil of rapeseed seeds by means of IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2015;4(164):35-40. [in Russian] (Ефименко С.Г., Ефименко С.К., Кучеренко Л.А., Нагалеvская Я.А. Экспресс-оценка содержания основных жирных кислот в масле семян рапса с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2015;4(164):35-40).

Efimenko S.G., Kucherenko L.A., Efimenko S.K., Nagalevskaia Ya.A. Evaluation of the general qualitative traits of soybean seeds using IR-spectrometry. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2016;3(167):33-38. [in Russian] (Ефименко С.Г., Кучеренко Л.А., Ефименко С.К., Нагалеvская Я.А. Оценка основных показателей качества семян сои с помощью ИК-спектрометрии. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2016;3(167):33-38).

Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimitskogo issledovaniya rasteniy). A.I. Ermakov (ed.). 3rd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Ара-

симович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. 3-е изд. Ленинград: Агропромиздат; 1987).

Kushnareva A.V., Shelenga T.V., Perchuk I.N., Egorova G.P., Malyshev L.L., Kerv Yu.A. et al. Selection of an optimal method for screening the collection of narrow-leaved lupine held by the Vavilov Institute for the qualitative and quantitative composition of seed alkaloids. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(8):829-835. DOI: 10.18699/VJ20.680

Naumkin V.N., Naumkina L.A., Sergeeva V.A., Artgukhov A.I., Lukashevich M.I. Lupin crops prospects in the Central Black-Soil Zone. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2009;(1):27-29. [in Russian] (Наумкин В.Н., Наумкина Л.А., Сергеева В.А., Артюхов А.И., Лукашевич М.И. Перспективы культуры люпина в Центрально-Черноземном регионе. *Достижения науки и техники АПК*. 2009;(1):27-29).

Timoshenko E.S., Lukashevich M.I., Yagovenko G.L., Ageeva P.A., Zaitseva N.M. Characteristics of promising varieties of lupine Michurinsky and Belorozovy 144 for food use. *Storage and Processing of Farm Products*. 2022;(2):188-200. [in Russian] (Тимошенко Е.С., Лукашевич М.И., Яговенко Г.Л., Агеева П.А., Зайцева Н.М. Характеристика перспективных сортов люпина Мичуринский и Белорозовый 144 для пищевого использования. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022;(2):188-200). DOI: 10.36107/10.36107/spfp.2022.310

Vaccari G., Mantovani G., Sgualdino G. The development of near-infrared (NIR) technique on-line in the sugar factory. *Sugar Journal*. 1990;52(10):4-8.

Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burlayeva M.O., Semenova E.V., Filipenko G.I., Aleksandrova T.G., Egorova G.P., Yankov I.I., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying: (guidelines). 2nd ed. M.A. Vishnyakova (ed.). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Яньков И.И., Бульнцев С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: (методические указания). 2-е изд. / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-79-5

Wheeler O.H. Near infrared spectra of organic compounds. *Chemical Reviews* 1959;59(4):629-666. DOI: 10.1021/cr50028a004

### *Информация об авторах:*

**Виталий Сергеевич Попов**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

**Александра Владимировна Саликова (Кушнарева)**, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, kushnareva.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5709-7961>

**Ирина Николаевна Перчук**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

**Нина Григорьевна Конькова**, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.konkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-3904>

**Галина Павловна Егорова**, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, g.egorova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8645-3072>

**Мargarита Афанасьевна Вишнякова**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, m.vishnyakova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

**Татьяна Васильевна Шеленга**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

### *Information about the authors*

**Vitaliy S. Popov**, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

**Aleksandra V. Salikova (Kushnareva)**, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, kushnareva.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5709-7961>

**Irina N. Perchuk**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.perchuk@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6568-5248>

**Nina G. Konkova**, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.konkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4920-3904>

**Galina P. Egorova**, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, g.egorova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8645-3072>

**Margarita A. Vishnyakova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.vishnyakova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

**Tatiana V. Shelenga**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

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

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.09.2023; одобрена после рецензирования 08.11.2023; принята к публикации 04.03.2024. The article was submitted on 11.09.2023; approved after reviewing on 08.11.2023; accepted for publication on 04.03.2024.