

# КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

УДК 635.24

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-173-186



## Биологически активные вещества в клубнях образцов топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) из коллекции ВИР

Н. В. Лебедева<sup>1</sup>, А. В. Любченко<sup>2</sup>, А. Е. Соловьева<sup>1</sup>, И. В. Варганова<sup>1</sup>, Е. В. Рогозина<sup>1</sup><sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, Майкопский район, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алла Евгеньевна Соловьева, a.solovyeva@vir.nw.ru

**Актуальность.** Разнообразие природно-климатических условий Северного Кавказа обуславливает важность изучения сортовых реакций топинамбура на возделывание в определенных эколого-географических зонах. Оценка образцов коллекции топинамбура ВИР, сохраняемой в регионе, актуальна для выяснения изменчивости культуры по продуктивности и биохимическому составу клубней и при выборе сорта, перспективного для выращивания. Цель исследования: изучить биохимический состав клубней топинамбура, поддерживаемых в полевом генбанке на Майкопской опытной станции – филиале ВИР (Республика Адыгея).

**Материалы и методы.** Материалом исследования послужили 19 образцов топинамбура из коллекции Майкопской опытной станции. Топинамбур выращивали как однолетнюю культуру – клубни перезимовывали в поле, а весной высаживались на новый участок. Анализ продуктивности проведен для образцов урожая 2021, 2022 г. Анализ биохимического состава клубней проведен для образцов урожая 2021–2023 гг. в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР с использованием стандартных методов.

**Результаты.** Высокая продуктивность клубней топинамбура в течение двух лет отмечена у образца 'Сахалинский Красный' (2,2 кг/раст.). Выявлены образцы с высоким содержанием биологически активных веществ: инулина – 'Австралийский' (14,10 ± 1,41%), 'Лола' (13,73 ± 1,28%), 'Топianka' (13,43 ± 2,06%), 'Waldspindel' (13,32 ± 1,60%), 'Зори Кавказа' (13,22 ± 0,93%); сухих веществ – 'Тамбовский Красный' (27,66 ± 0,60%); суммы сахаров – 'Лола' (19,02 ± 3,48%); белка – 'Австралийский' (3,65 ± 0,67%). Сорт 'Находка' сохраняет высокий потенциал продуктивности (2,68 кг/раст.) при благоприятных условиях периода вегетации.

**Заключение.** В коллекции ВИР выделены образцы с высокой и стабильной продуктивностью клубней, ценным биохимическим составом (высокое содержание инулина, аскорбиновой кислоты), высоким содержанием питательных веществ (белка).

**Ключевые слова:** инулин, сахара, аскорбиновая кислота, антоцианы, общая кислотность, сухое вещество, белок, биохимический анализ, продуктивность, клубни

**Благодарности:** исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда клубнеплодных культур (картофель, топинамбур) и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции» (FGEM-2025-0005). Авторы благодарят бывшего сотрудника Майкопской опытной станции – филиала ВИР [Н. М. Пасько], внесшего огромный вклад в формирование и пополнение коллекции топинамбура.

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

**Для цитирования:** Лебедева Н.В., Любченко А.В., Соловьева А.Е., Варганова И.В., Рогозина Е.В. Биологически активные вещества в клубнях топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(3):173-186. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-173-186

## COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-173-186

### Bioactive compounds in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers from the VIR collection

Natalia V. Lebedeva<sup>1</sup>, Alexandr V. Lyubchenko<sup>2</sup>, Alla E. Solovyeva<sup>1</sup>, Irina V. Varganova<sup>1</sup>, Elena V. Rogozina<sup>1</sup><sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station – branch of VIR, Maikop District, Russia**Corresponding author:** Alla E. Solovyeva, a.solovyeva@vir.nw.ru

**Background.** Diverse nature and climate conditions in the North Caucasus invoke the importance of studying cultivar-specific responses of Jerusalem artichoke to cultivation in certain ecogeographic areas. Evaluation of Jerusalem artichoke accessions preserved at VIR is relevant for disclosing the crop's variability in productivity and biochemical composition of its tubers and choosing cultivars promising for cultivation. The objective was to examine the biochemical composition of Jerusalem artichoke tubers maintained in the field gene bank at Maikop Experiment Station of VIR (Adygea, Russia).

**Materials and methods.** Nineteen Jerusalem artichoke accessions from Maikop Experiment Station served as the material for the study. They were grown as an annual crop: the tubers overwintered in the field, and were transplanted to new plots in the following spring. Tuber productivity was assessed in the plants harvested in 2021 and 2022. Biochemical composition was analyzed in the reproductions of the 2021–2023 harvests at the Biochemistry and Molecular Biology Department of VIR using conventional techniques.

**Results.** High productivity over two years was recorded for 'Sakhalinskiy Krasny' (2.2 kg/plant). Accessions with high content of bioactive compounds were identified: for inulin, 'Australian' ( $14.10 \pm 1.41\%$ ), 'Lola' ( $13.73 \pm 1.28\%$ ), 'Topianka' ( $13.43 \pm 2.06\%$ ), 'Waldspiendel' ( $13.32 \pm 1.60\%$ ) and 'Zori Kavkaza' ( $13.22 \pm 0.93\%$ ); for dry matter, 'Tambovskiy Krasny' ( $27.66 \pm 0.60\%$ ); for total sugars, 'Lola' ( $19.02 \pm 3.48\%$ ); for protein, 'Avstraliyskiy' ( $3.65 \pm 0.67\%$ ). Cv. 'Nakhodka' maintained its potential for high productivity (2.68 kg/plant) under favorable growing season conditions.

**Conclusion.** Screening of VIR's Jerusalem artichoke collection resulted in identifying accessions with high and stable tuber productivity, valuable biochemical composition, and high content of bioactive compounds (inulin, and ascorbic acid) and nutrients (protein).

**Keywords:** inulin, sugars, ascorbic acid, anthocyanins, total acidity, dry matter, protein, biochemical analysis, productivity, tubers

**Acknowledgements:** the study was conducted within the framework of the state task assigned to the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), No. FGEM-2025-0005 "Improving approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of tuber crops (potato, and Jerusalem artichoke) and their wild relatives, and developing technologies for their effective use in breeding".

The authors express their deep gratitude to [N. M. Pasko], the late staff member of Maikop Experiment Station of VIR, who made a huge contribution to the formation and replenishment of the Jerusalem artichoke collection.

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

**For citation:** Lebedeva N.V., Lyubchenko A.V., Solovyeva A.E., Varganova I.V., Rogozina E.V. Bioactive compounds in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):173-186. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-173-186

## Введение

Топинамбур, или подсолнечник клубненосный (*Helianthus tuberosus* L.), – многолетнее травянистое клубеносное растение сем. Asteraceae Dumort. родом из Северной Америки. Это одна из универсальных сельскохозяйственных культур, пригодная для использования на пищевые, кормовые, биоресурсные, медицинские, декоративные и технические цели. Богатый биохимический состав всех частей растения (клубней, листьев и стеблей) установлен многими исследователями (Sawicka et al., 2020; Liava et al., 2021; Manokhina et al., 2022). Высокая урожайность и относительная нетребовательность к уходу, способность к ежегодному возобновлению и устойчивость к неблагоприятным факторам среды определяют преимущества топинамбура как источника сырья для создания высокоэффективных пищевых продуктов.

Культура топинамбура приобретает все большее значение на мировом рынке сельскохозяйственной продукции благодаря высокой продуктивности, питательной ценности и адаптивности к условиям выращивания (Nanci, 2023). Топинамбур возделывают в 25 странах на всех континентах (Liava et al., 2021). В России промышленным способом топинамбур выращивают на площади 3000 га (Manokhina et al., 2022). При возделывании топинамбура большое значение имеет правильный выбор сорта. Несмотря на высокую адаптивность культуры, для обеспечения максимальной фотосинтетической активности растений и получения хорошего урожая и высокого качества продукции необходимо учитывать биологические особенности сорта, географическое положение и климатические условия местности, состав и структуру почвы, агротехнику возделывания (Kosaric et al., 1984; Kiru, Nasenko, 2010; Liava et al., 2021; Manokhina et al., 2022). В Государственном реестре сортов и селекционных достижений РФ представлены пять сортов топинамбура: 'Интерес', 'Омский Белый', 'Пасько', 'Скороспелка' и 'Солнечный', допущенные к использованию во всех зонах возделывания культуры (<https://reestr.gossortrf.ru>). Ввиду чрезвычайного разнообразия природно-климатических условий на территории России изучение сортовых реакций топинамбура в определенных эколого-географических зонах, оценка продуктивности и биохимического состава клубней актуальны и позволяют выбрать сорт, наиболее перспективный для выращивания на пищевые цели в конкретном регионе.

Клубни и надземная масса топинамбура содержат большое количество пектина, пищевых волокон, белка, аминокислот, в том числе незаменимых, жизненно важных макро- и микроэлементов, а также органических и жирных кислот, обладающих сильным антиоксидантным действием. По содержанию магния, железа, кремния, цинка, а также витаминов B1, B2 и C топинамбур превосходит картофель, морковь, столовую свеклу (Khristich et al., 2015). Клубни топинамбура не содержат алкалоид солонин, образующийся на свету в сыром картофеле. Топинамбур обладает уникальной способностью накапливать высокое содержание инулина. Вместе с тем клубни и надземная масса топинамбура не накапливают тяжелые металлы (свинец, ртуть, мышьяк и др.) и радионуклиды (Lebedeva et al., 2019). Уникальный биохимический состав топинамбура позволил рекомендовать его в качестве сырья для создания и производства функциональных продуктов питания (Manokhina et al., 2022).

По данным FAO, в 2009 г. 468 образцов *H. tuberosus* сохранялось в мировых генных банках; самые представительные коллекции (более чем 100 образцов) существовали в Канаде, Сербии, Германии, США, Франции и России (Diederichsen, 2010). В связи с трудностью поддержания полевой коллекции в генбанке США образцы топинамбура перевели в семенную коллекцию, несколько уменьшился состав коллекций Германии и Сербии, продолжают сохранять в виде клонов 180 образцов топинамбура во Франции (Terzić et al., 2020). На Майкопской опытной станции ВИР собрана и поддерживается в живом виде одна из наиболее представительных коллекций топинамбура в мире: она включает более 400 образцов, собранных в течение 80 лет (Lebedeva et al., 2019). Исследование образцов топинамбура из мировых коллекций проводится по разным направлениям. Проведено агробиологическое изучение по 23 дескрипторам коллекции топинамбура в Канаде (Diederichsen, 2010). Продуктивность, скороспелость и устойчивость к болезням изучены у образцов топинамбура в коллекции Франции (Serieys et al., 2010), продуктивность, морфологические признаки клубней и соцветий – у образцов топинамбура в коллекции ВИР (Kiru, Nasenko, 2010; Smekalova et al., 2019). Обширные выборки образцов топинамбура из разных коллекций охарактеризованы по продуктивности и содержанию инулина (Puttha et al., 2012), генетической структуре и генетическому родству (Wangsomnuk et al., 2011).

Разную продуктивность и биохимический состав клубней имеют сорта топинамбура в странах Европы (Rossini et al., 2019; Sawicka et al., 2021), образцы топинамбура, возделываемые в 24 провинциях Китая (Liu et al., 2011), сорта и образцы топинамбура в Беларуси, Центральном и Северо-Западном регионах России, в Западной Сибири (Kiru, Nasenko, 2010; Leontiev et al., 2014; Khristich et al., 2015; Manokhina et al., 2022). Отечественные и зарубежные сорта топинамбура, сохраняемые длительное время на Майкопской опытной станции ВИР (Майкопская ОС), представлены разнообразием сортотипов, классификация которых проведена Н. М. Пасько по ряду морфологических признаков (Lebedeva et al., 2019). Изучение биохимического состава клубней у образцов топинамбура, адаптированных к условиям Северо-Кавказского региона, представляет особый интерес и важно для более полной характеристики разнообразия культуры и отбора материала, ценного для селекции или непосредственного выращивания в производстве.

Цель данной работы – оценка по биохимическому составу клубней 19 образцов топинамбура в условиях Северо-Кавказского региона. Новизна исследования заключается в определении комплекса биохимических показателей клубней топинамбура: содержания сухого вещества, углеводов с учетом инулина, белка, органических кислот, аскорбиновой кислоты, антоцианов и оценке их изменчивости под влиянием климатических условий.

## Материалы и методы

Изучены в течение 2021–2023 гг. 19 образцов топинамбура из коллекции ВИР, поддерживаемой на Майкопской ОС ВИР (регион – Северный Кавказ, Республика Адыгея, окрестности г. Майкоп).

Исследованы образцы топинамбура иностранной и российской селекции, разных групп спелости, адаптированные к условиям региона (табл. 1). Сорт 'Омский Белый', включенный в Госреестр сортов и селекционных достижений в 2014 г., использован в качестве стандарта.

**Таблица 1. Изученные образцы топинамбура из коллекции Майкопской опытной станции ВИР****Table 1. The studied Jerusalem artichoke accessions from Maikop Experiment Station of VIR**

| № по каталогу ВИР | Название                  | Происхождение | Интенсивность антоциановой окраски кожуры клубней* | Группа спелости |
|-------------------|---------------------------|---------------|----------------------------------------------------|-----------------|
| 1                 | ‘Běloslupké’              | Чехословакия  | отсутствует или очень слабая                       | позднеспелый    |
| 3                 | ‘Киевский Белый’          | Украина       | отсутствует или очень слабая                       | позднеспелый    |
| 4                 | ‘Сахалинский Красный’     | Япония        | сильная (отсутствует или очень слабая)             | позднеспелый    |
| 6                 | ‘Венгерский’              | Венгрия       | отсутствует или очень слабая                       | среднеспелый    |
| 10                | ‘Тамбовский Красный’      | Россия        | очень сильная (отсутствует или очень слабая)       | среднеспелый    |
| 14                | ‘Горно-Алтайский’         | Россия        | очень сильная (отсутствует или очень слабая)       | раннеспелый     |
| 25                | ‘Белый Урожайный’         | Россия        | отсутствует или очень слабая                       | позднеспелый    |
| 26                | ‘Австралийский’           | Австралия     | отсутствует или очень слабая                       | среднеспелый    |
| 68                | ‘Waldspindel’             | Германия      | сильная (средняя)                                  | среднеспелый    |
| 70                | ‘Торіанка’                | Германия      | сильная (средняя)                                  | среднеспелый    |
| 78                | ‘Толбухин’                | Болгария      | отсутствует или очень слабая                       | среднеспелый    |
| 84                | ‘Находка’                 | Россия        | отсутствует или очень слабая                       | среднеспелый    |
| 85                | ‘Amerikan’                | США           | средняя (отсутствует или очень слабая)             | позднеспелый    |
| 193               | ‘Violet de Rennes’        | Франция       | очень сильная (средняя)                            | позднеспелый    |
| 194               | ‘Progress’                | Франция       | отсутствует или очень слабая                       | среднеспелый    |
| 313               | ‘Зори Кавказа’            | Россия        | очень сильная                                      | позднеспелый    |
| 314               | ‘Омский Белый’ (стандарт) | Россия        | отсутствует или очень слабая                       | позднеспелый    |
| 326               | ‘Лола’                    | Россия        | сильная (средняя)                                  | позднеспелый    |
| 354               | 2051                      | США           | очень сильная (сильная)                            | позднеспелый    |

Примечание: \* – в скобках приведена интенсивность антоциановой окраски клубней топинамбура, изученных в 2021–2023 гг.

Note: \* – parenthesized is the intensity of anthocyanin coloration in Jerusalem artichoke tubers studied in 2021–2023

Топинамбур выращивали как однолетнюю культуру: клубни пересаживали в поле, а во второй декаде апреля образцы пересаживали на новый участок. Каждый образец в питомнике занимал однорядковую делянку площадью 3,92 м<sup>2</sup> с размещением на ней восьми гнезд по схеме 0,70 × 0,70 м. Растения высаживали в борозды, глубина посадки 8–10 см. После появления массовых всходов (не менее шести в делянке) междурядья на новом участке культивировались в одном направлении. В дальнейшем, после первой ручной прополки, проводилась подкормка аммиачной селитрой в количестве 250 кг/га с последующей культивацией. Дорожки между ярусами на участке периодически дисковались.

Учет агрометеорологических условий (температура воздуха и количество осадков) выполнен на приборах метеопоста Майкопской ОС. Для более полной характеристики режима увлажнения определяли гидротермический коэффициент

Г. Т. Селянинова (ГТК), выражающий отношение суммы осадков к сумме средних температур, уменьшенной в 10 раз.

Климат Республики Адыгеи сравнительно теплый, влажный. По многолетним данным метеопоста, в среднем зафиксированы малоснежные зимы, умеренно-холодные, мягкие, с частым чередованием морозных периодов и оттепелей, что может приводить к подмерзанию культуры топинамбура. В апреле вероятность засушливых условий достаточно высока. Осадки в летние месяцы выпадают крайне неравномерно и часто имеют кратковременный, ливневый характер. Во второй половине лета почти каждый год наблюдаются засушливые периоды. Запасы воды в почве нередко снижаются до недоступных уровней, образуя глубокие трещины. В отдельные дни июля и августа температура воздуха может достигать +45°C, а на поверхности

почвы – до +64°C. Суховеи отмечаются около 60 дней в году.

Продуктивность оценивали в 2022–2023 гг. ранней весной после стаивания снега. Для учета продуктивности клубней выбирали три растения (пробы) каждого образца. Выкапывали клубни ручным способом, в каждой пробе подсчитывали число образовавшихся клубней, затем взвешивали их на электронных весах и полученные данные записывали в таблицу. Все учеты проводили в полевых условиях.

Для биохимического анализа ежегодно проводили специальный отбор клубней (8–10 шт. с одного типичного растения) у образцов в поле в последней декаде октября.

Биохимическое исследование клубней топинамбура проводили ежегодно в 2021–2023 гг. Определяли содержание сухого вещества, углеводного комплекса (инулин, редуцирующие сахара, сахароза), белка, органических кислот, аскорбиновой кислоты (витамина С), пигментов (антоцианов). Анализы проведены в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР (Санкт-Петербург). Данные биохимического анализа представлены на сырое вещество по всем показателям, кроме содержания антоцианов, которые выражали на абсолютно сухое вещество. Определяли среднее значение показателя ( $\bar{x}$ ) и ошибку среднего значения ( $\pm Sx$ ).

Образцы клубней промывали водопроводной водой, взвешивали и сушили на воздухе. Из отобранных для анализа клубней формировали объединенную пробу. Клубни промывали, просушивали и измельчали. Образцы были обработаны и проанализированы, как описано ранее, по методике А. И. Ермакова и соавторов (Ermakov et al., 1987).

Содержание сухого вещества определяли термogravиметрическим методом, путем высушивания образцов до постоянного веса при температуре 105°C (GOST 33977-2016..., 2019). Содержание сахара оценивали стандартным методом Бертрана, который основан на восстановительном действии сахара на щелочной раствор тартратного комплекса с ионом меди; образовавшуюся закись меди растворяли в теплом кислом растворе железистых квасцов. Трехвалентные квасцы восстанавливали до  $FeSO_4$ , который титровали по стандартизованному  $KMnO_4$ ; Си-эквивалент соотносили с таблицей для получения количества редуцирующего сахара (GOST 26176-2019..., 2020). Содержание инулина измеряли по разнице между общим количеством углеводов, найденных после горячей экстракции водой и 82-процентным этиловым спиртом (Ermakov et al., 1952). Содержание белка определяли по методу Кьельдаля: среднюю пробу высушенного (при 60°C) материала минерализовали при нагревании с концентрированной серной кислотой при 420°C в течение полутора часов. Определение азота проводили на автоматическом анализаторе Kjeltac 2200 (FOSS, Швеция) с последующим титрованием 0,1 н раствором серной кислоты. Общее содержание белка рассчитывали по азоту с коэффициентом 6,25 (GOST 13496.4-2019..., 2019). Общую (титруемую) кислотность определяли путем титрования экстракта 0,1 н щелочью в пересчете на яблочную кислоту; аскорбиновую кислоту определяли путем прямой экстракции из растений 1-процентной соляной кислотой с последующим титрованием 2,6-дихлориндофенолом (GOST 24556-89..., 1989). Антоцианы извлекали экстракцией раствором 1-процентной соляной кислоты, с последующим спектрофотометрированием при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид.

Содержание общего количества антоцианов рассчитывали по формуле с использованием удельного показателя поглощения цианидин-3,5-дигликозид-хлорида в 1-процентном водном растворе соляной кислоты. Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при длине волны 657 нм (Chupakhina, Maslennikov, 2004).

Статистический анализ данных оценки сортов топинамбура по продуктивности и биохимическим показателям клубней выполнен в программе Statistica 13. Определяли среднее значение, ошибку, дисперсию, медиану и коэффициент вариации каждого показателя. Использованы методы параметрической и непараметрической статистики в зависимости от вида распределения показателей, различия статистически значимы при  $p < 0,05$ .

## Результаты

### Агрометеорологические условия

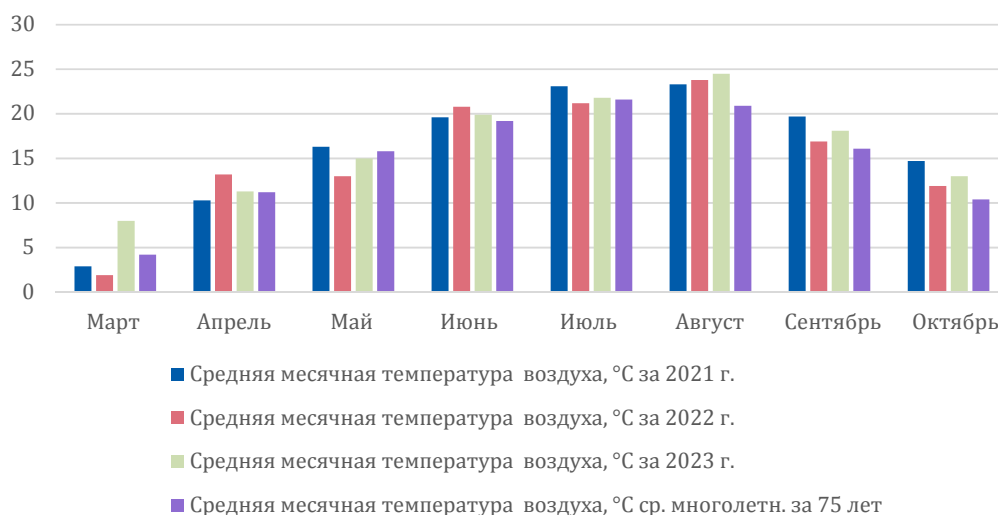
Агрометеорологические условия вегетационных сезонов 2021–2023 гг. были контрастными по обеспеченности теплом и влагой. Средняя месячная температура воздуха вегетационных периодов 2021, 2022 и 2023 г. составила 16,2°C, 15,3°C и 16,5°C соответственно, при норме 14,9°C (рис. 1). Среднее месячное количество осадков в 2021, 2022 и 2023 г. составило 84,3 мм, 68,1 мм и 83,6 мм соответственно, при норме в 75,6 мм (рис. 2).

В 2021 г., по сравнению со средними многолетними данными наблюдений, два первых весенних месяца отличались пониженной температурой; в дальнейшем, с мая по сентябрь, температура превышала средние многолетние значения (см. рис. 1). Обильные осадки стали причиной периода избыточного увлажнения весной и в начале лета, который сменился периодом дефицита влаги в летне-осенние месяцы (см. рис. 2; табл. 2). В 2022 г. отмечены повышенные температуры в апреле, июне, августе и сентябре, пониженные – в марте и мае. Осадков во все месяцы, кроме сентября, выпало меньше, чем средние многолетние значения, поэтому в летние месяцы отмечен дефицит влаги (см. табл. 2). В 2023 г. отмечены более теплые март и август, в остальные месяцы температура была близка к норме; избыточное количество осадков весной и в начале лета сменилось засухой в летне-осенние месяцы (см. рис. 2, табл. 2). В каждый год наблюдений отмечены засушливые условия в июле – августе (см. табл. 2).

### Продуктивность

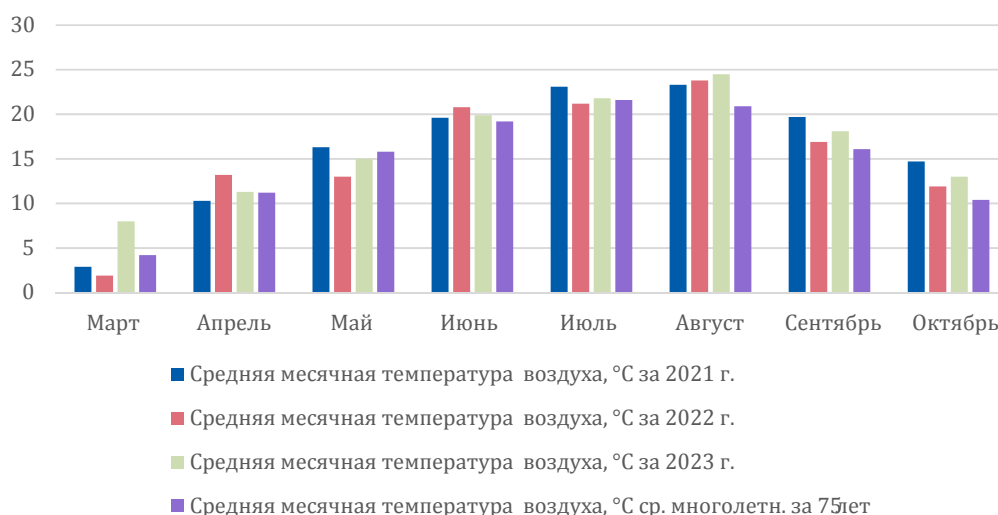
Образцы топинамбура различаются по продуктивности, показатели которой варьировали в годы исследования в зависимости от генотипа (особенностей сорта) и среды (условий периода вегетации) (рис. 3).

Различия по продуктивности (см. рис. 3) между сортами топинамбура в годы исследования достоверны: критерий Фишера  $F = 4,94$  ( $p < 0,001$ ). Влияние фактора «год» также значимо: критерий Фишера  $F = 40,7$  ( $p < 0,001$ ). В целом более высокая продуктивность исследованной выборки сортов топинамбура получена в 2022 г. (2,4 кг клубней на одно растение), чем в 2023 г. (1,4 кг/раст.), что, очевидно, связано с более благоприятным режимом влагообеспеченности (см. табл. 2). Высокая продуктивность (более 2 кг клубней на растении в среднем за два года) отмечена у среднеспелых сортов: 'Тамбовский Красный', 'Австралийский', 'Толбухин', 'Находка'; позднеспелых сортов: 'Bëloslupké', 'Киевский Белый', 'Сахалин-



**Рис. 1. Средняя месячная сумма температуры воздуха, °С (Майкопская опытная станция ВИР, 2021–2023 гг.)**

**Fig. 1. Mean monthly air temperatures, °C (Maikop Experiment Station of VIR, 2021–2023)**



**Рис. 2. Средняя месячная сумма осадков, мм (Майкопская опытная станция ВИР, 2021–2023 гг.)**

**Fig. 2. Mean monthly precipitation, mm (Maikop Experiment Station of VIR, 2021–2023)**

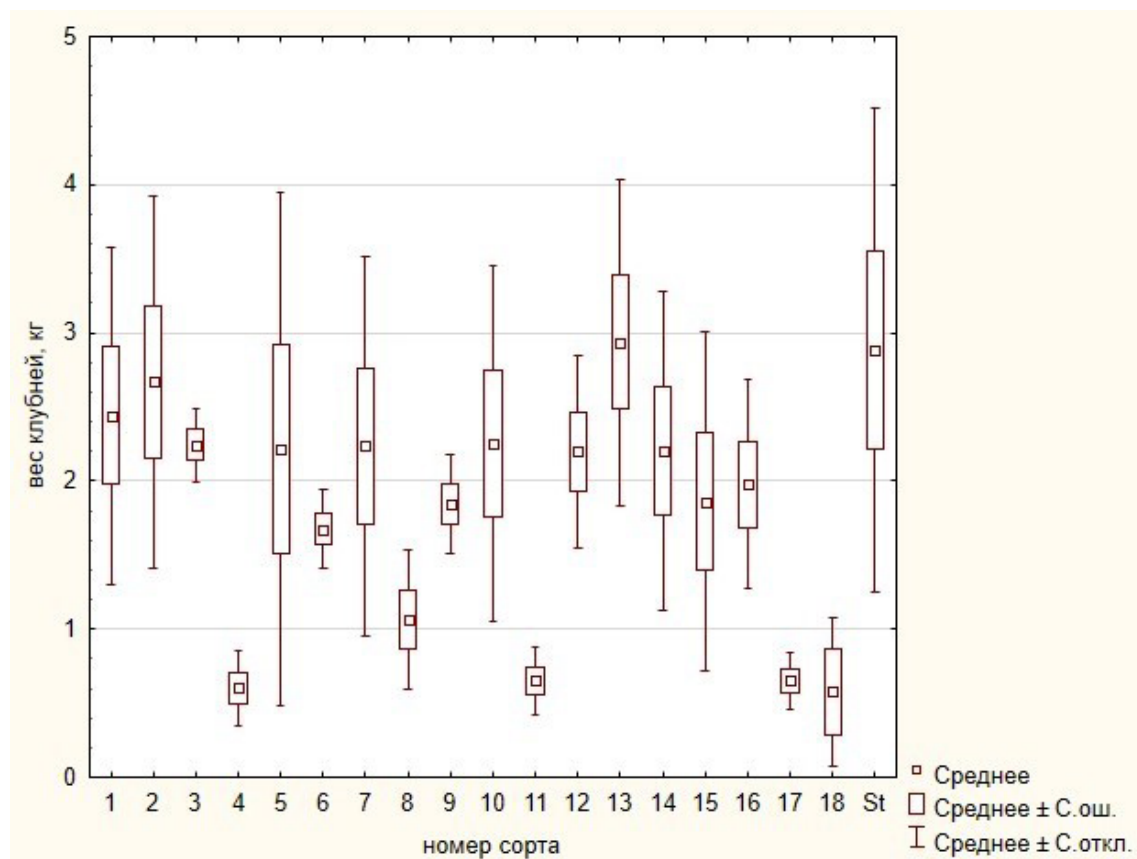
**Таблица 2. Характеристика уровня влагообеспеченности территории Майкопской опытной станции ВИР (по коэффициенту Г. Т. Селянинова) в 2021–2023 гг.**

**Table 2. Moisture supply levels at Maikop Experiment Station of VIR (according to G. T. Selyaninov coefficient) in 2021–2023**

| Год                 | Месяц |     |     |     |      |     |     |
|---------------------|-------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
|                     | IV    | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   |
| 2021                | 3,4   | 2,3 | 2,9 | 0,5 | 1    | 0,9 | 1,2 |
| 2022                | 1,4   | 1,8 | 1   | 1   | 1    | 2,5 | 1,7 |
| 2023                | 4,3   | 2,4 | 2,1 | 0,7 | 0,3  | 0,2 | 1,7 |
| Среднее многолетнее | 2     | 2,0 | 1,8 | 1,2 | 1,2  | 1,4 | 2,6 |

Примечание: градация ГТК: до 0,5 – засуха; 0,6–1,0 – засушливо; 1,1–1,4 – умеренное увлажнение; 1,5–2,0 – хорошее увлажнение; выше 2,0 – избыточное увлажнение

Note: HTC gradation: up to 0.5 = drought; 0.6–1.0 = arid; 1.1–1.4 = moderate moisture; 1.5–2.0 = good moisture; above 2.0 = excessive moisture



Среднее – среднее значение показателя продуктивность / mean value of productivity;

Ст. ош. – ошибка среднего значения / error of the mean;

Ст. откл. – стандартное отклонение / standard deviation

**Рис. 3. Продуктивность (масса клубней с одного растения) образцов топинамбура на Майкопской опытной станции ВИР в 2022–2023 гг.:**

1 – 'Bëloslupké', 2 – 'Киевский Белый', 3 – 'Сахалинский Красный', 4 – 'Венгерский', 5 – 'Тамбовский Красный', 6 – 'Горно-Алтайский', 7 – 'Австралийский', 8 – 'Waldspindel', 9 – 'Topianka', 10 – 'Толбухин', 11 – 'Белый Урожайный', 12 – 'Находка', 13 – 'Amerikan', 14 – 'Violet de Rennes', 15 – 'Progress', 16 – 'Зори Кавказа', 17 – 'Лола', 18 – 2051, St – 'Омский Белый' (стандарт)

**Fig. 3. Productivity (yield of tubers per plant) of Jerusalem artichoke accessions at Maikop Experiment Station of VIR in 2022–2023:**

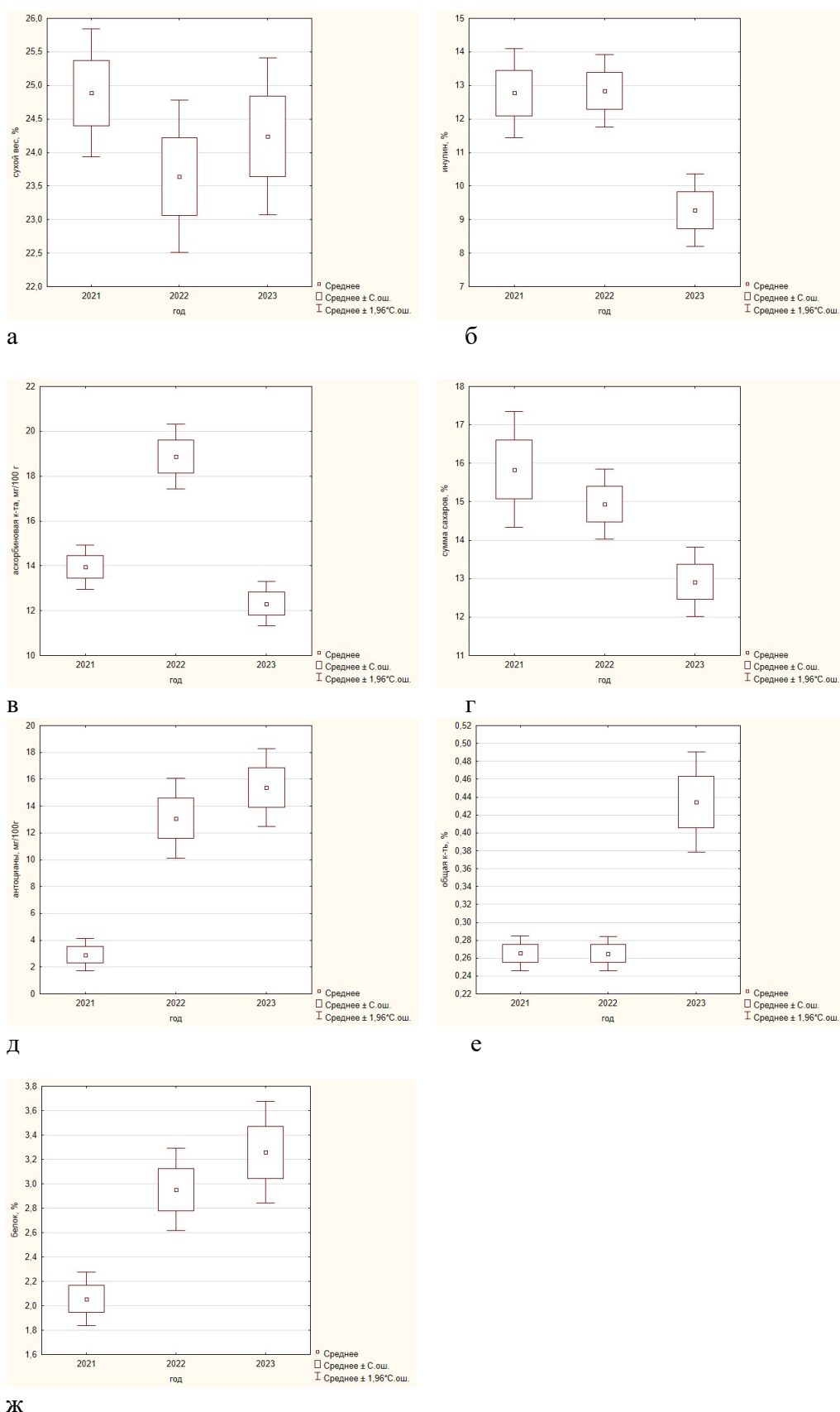
1 – 'Bëloslupké', 2 – 'Kievskiy Bely', 3 – 'Sakhalinskiy Krasny', 4 – 'Vengersky', 5 – 'Tambovskiy Krasny', 6 – 'Gorno-Altayskiy', 7 – 'Avstraliyskiy', 8 – 'Waldspindel', 9 – 'Topianka', 10 – 'Tolbukhin', 11 – 'Bely Urozhayny', 12 – 'Nakhodka', 13 – 'Amerikan', 14 – 'Violet de Rennes', 15 – 'Progress', 16 – 'Zori Kavkaza', 17 – 'Lola', 18 – 2051, St – 'Omskiy Bely' (reference)

ский Красный', 'Amerikan', 'Violet de Rennes' и стандарта 'Омский Белый'. Однако метеоусловия в значительной степени влияли на продуктивность клубней у большинства образцов. Коэффициент вариации по этому показателю у исследованной выборки сортов топинамбура составил 60%. Среди высокопродуктивных сортов только у сорта 'Сахалинский Красный' продуктивность (2,2 кг/раст.) была стабильна в течение двух лет, у остальных сортов этот показатель варьировал в значительной степени (см. рис. 3). Не выявлено связи между продуктивностью и группой спелости сортов топинамбура. Реакция на погодные условия более выражена у сортов с высокой продуктивностью, независимо от группы спелости, нежели чем реакция сортов с низкой продуктивностью. Единственный раннеспелый сорт 'Горно-Алтайский' оказался малочувствительным к нестабильности режимов тепла и влаги: его продуктивность снизилась незначительно, с 1,8 кг/раст. в 2022 г. до 1,5 кг/раст. в 2023 г. (см. рис. 3).

#### Биохимический состав клубней топинамбура

Характеристики биохимического состава клубней топинамбура в значительной степени зависели от условий периода вегетации (рис. 4). Различия по содержанию инулина, аскорбиновой кислоты, антоцианов, суммы сахаров, общей кислотности и содержанию белка в исследованной выборке сортов в зависимости от года исследования достоверны: критерий Фишера  $F = 11,7$ ,  $F = 33,1$ ,  $F = 27,3$ ,  $F = 6,6$ ,  $F = 28,3$ ,  $F = 13,4$  соответственно ( $p < 0,01$ ). Не выявлена существенность различий по показателю «содержание сухого вещества» (см. рис. 4, а).

В 2023 г. по сравнению с 2021 г. содержание инулина в клубнях растений топинамбура уменьшилось почти на 30%, сахаров – почти на 20% (см. рис. 4, б, г). Содержание антоцианов, напротив, было наибольшим в урожае клубней 2023 г., увеличившись в пять раз по сравнению с показателями 2021 г. (см. рис. 4, д). Общая кислотность в 2023 г. по сравнению с 2021 и 2022 г. увеличилась на



**Рис. 4. Изменчивость биохимического состава образцов топинамбура в 2021–2023 гг. по содержанию:**

**а** – сухого вещества; **б** – инулина; **в** – аскорбиновой кислоты; **г** – суммы сахаров; **д** – антоцианов; **е** – общей кислотности; **ж** – белка

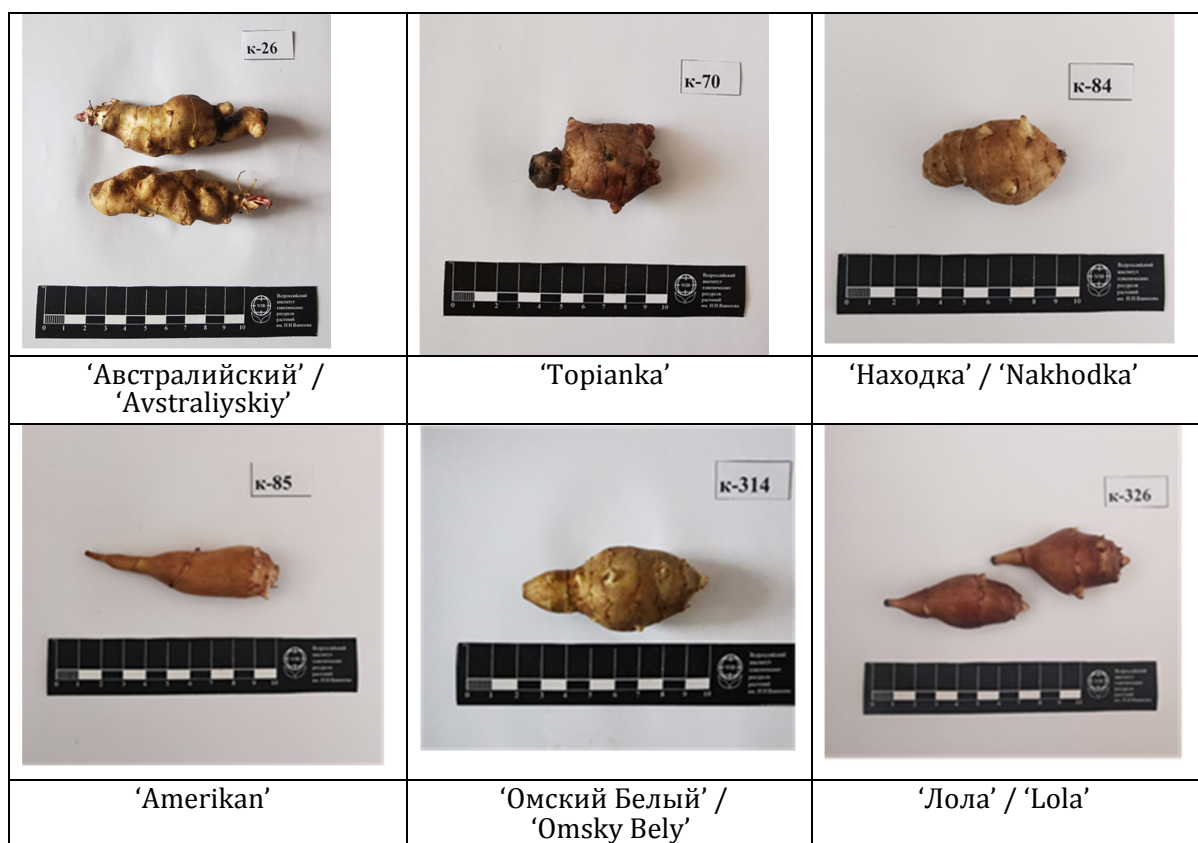
**Fig. 4. Variability of biochemical composition in Jerusalem artichoke in 2021–2023 according to:**  
**а** – dry matter; **б** – inulin; **в** – ascorbic acid; **г** – total sugars; **д** – anthocyanins; **е** – total acidity; **ж** – protein

64%, тогда как содержание аскорбиновой кислоты было в 2022 г. больше на 35% по сравнению с 2021 г. и на 53% по сравнению с 2023 г. (см. рис. 4, в, е). Содержание белка в 2023 г. по сравнению с 2021 г. увеличилось на 58% (см. рис. 4, ж).

Среди изученных образцов топинамбура различия по содержанию сухого вещества достоверны, критерий Фишера  $F = 2,9$  ( $p < 0,01$ ), влияние фактора «сорт» 25%. Клубни сортов 'Тамбовский Красный', 'Австралийский' (рис. 5), 'Лола' (см. рис. 5, е) и образца 2051 содержат более 26% сухого вещества. Высокое содержание инулина (13,2–14,1%) выявлено у сортов 'Торпанка' (см. рис. 5), 'Waldspindel', 'Австралийский', 'Зори Кавказа' и 'Лола', аскорбиновой кислоты (18,03 мг/100 г) – у сорта 'Толбухин', суммы сахаров (17,14–19,02%) – у сортов 'Тамбовский Красный' и 'Лола', моносахаров (2,20–2,32%) – у сортов 'Омский Белый' (см. рис. 5) и 'Киевский Белый'. У сорта 'Австралийский' обнаружено самое высокое содержание белка – 3,66% (табл. 3). Отличия по содержанию сухого вещества у сорта 'Тамбовский Красный', инулина у сортов 'Торпанка', 'Waldspindel', 'Австралийский', 'Зори Кавказа' и 'Лола', суммы сахаров у сорта 'Лола' и белка у сорта 'Австралийский' статистически значимы (см. табл. 3). Клубни сорта-стандарта 'Омский Белый' по химическому составу не имеют существенных отличий от средних значений этих показателей у исследованной выборки образцов топинамбура. Следует отметить образец 'Amerikan' (см. рис. 5), который по продуктивности и биохимическому составу клубней не уступал сорту-стандарту 'Омский Белый' и который может представлять потенциальный интерес для промышленного возделывания в регионе.

Общая кислотность у образцов топинамбура варьировала (0,22–0,43%), самый большой диапазон по этому показателю установлен у сорта 'Толбухин': от 0,22% в 2022 г. до 0,81% в 2023 г. У образцов 'Сахалинский Красный', 'Progress', 'Зори Кавказа', 'Лола' и 'Омский Белый' показатель общей кислотности мало изменялся в годы исследования и составил 0,22–0,35%.

Сорта топинамбура заметно различаются по содержанию антоцианов в кожуре клубней: среднее значение показателя по данным трех лет варьирует от 3,72 до 16,82 мг/100 г. Высокая изменчивость этого показателя в годы исследования ( $V = 74\%$ ) указывает на неоднородность проб клубней, взятых для анализа. Нами отмечена нестабильность проявления антоциановой окраски клубней у некоторых образцов в исследованной выборке. Согласно морфологическим описаниям образцов топинамбура в коллекции ВИР среди исследованных нами сортов у девяти антоциановая окраска клубней отсутствует или слабо выражена, у одного – средней интенсивности и у остальных девяти – сильная или очень сильная (см. табл. 1). В нашем исследовании в 2021–2023 гг. отмечена более слабая окраска клубней у образцов 'Amerikan', 'Торпанка', 'Violet de Rennes', 'Waldspindel', 'Торно-Алтайский', 'Лола', 'Сахалинский Красный' и 'Тамбовский Красный'. У сорта 'Violet de Rennes' ежегодно отмечали интенсивную окраску клубней, но малое содержание антоцианов (4,35 мг/100 г.) найдено в 2021 г. и высокое (22,2–23,9 мг/100 г) – в два последующих года. У сорта 'Зори Кавказа' содержание антоцианов в 2022 и 2023 г. составило 12,5 мг/100 г и 28,5 мг/100 г клубней соответственно. У сорта 'Лола' с интенсивной окраской клубней содержание антоцианов в годы изучения было



**Рис. 5.** Клубни сортов топинамбура с номерами каталога ВИР (фото Н. В. Лебедевой)

**Fig. 5.** Tubers of Jerusalem artichoke cultivars with VIR catalogue numbers (photos by N. V. Lebedeva)

**Таблица 3.** Биохимический состав образцов топинамбура на Майкопской опытной станции ВИР в 2021–2023 гг.**Table 3.** Biochemical composition of Jerusalem artichoke accessions at Maikop Experiment Station of VIR in 2021–2023

| Образец                      | Сухой вес, %                    | Инулин, %                       | Аскорбино-<br>вая кислота,<br>мг/100 г | Антоцианы,<br>мг/100 г | Сумма саха-<br>ров, %           | Белок, %                       |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ‘Омский Белый’<br>(стандарт) | 23,69 ± 1,46                    | 12,45 ± 1,65                    | 16,04 ± 2,49                           | 7,63 ± 4,60            | 14,69 ± 1,43                    | 2,75 ± 0,43                    |
| ‘Amerikan’                   | 24,63 ± 1,42                    | 10,95 ± 0,91                    | 15,37 ± 1,12                           | 8,47 ± 1,16            | 14,81 ± 1,05                    | 3,06 ± 0,55                    |
| ‘Běloslupké’                 | 22,10 ± 0,66                    | 10,02 ± 1,08                    | 13,50 ± 4,27                           | 15,11 ± 5,83           | 12,53 ± 0,77 <sup>б</sup>       | 2,43 ± 0,45                    |
| ‘Progress’                   | 23,86 ± 2,34                    | 11,10 ± 2,61                    | 15,13 ± 2,38                           | 9,27 ± 5,04            | 14,08 ± 1,84 <sup>б</sup>       | 2,56 ± 0,33                    |
| ‘Topianka’                   | 23,30 ± 1,42                    | <b>13,43 ± 2,06<sup>а</sup></b> | 14,26 ± 0,87                           | 11,84 ± 4,44           | 15,21 ± 2,13                    | 3,23 ± 1,34                    |
| ‘Violet de Rennes’           | 21,57 ± 0,76 <sup>б</sup>       | 7,78 ± 1,83 <sup>б</sup>        | 14,40 ± 1,66                           | 16,82 ± 6,26           | 12,32 ± 1,79 <sup>б</sup>       | 2,45 ± 0,49                    |
| ‘Waldspindel’                | 25,90 ± 0,54                    | <b>13,32 ± 1,60<sup>а</sup></b> | 15,07 ± 1,27                           | 12,88 ± 5,22           | 16,17 ± 0,84                    | 2,98 ± 0,49                    |
| ‘Австралийский’              | 26,12 ± 0,59                    | <b>14,10 ± 1,41<sup>а</sup></b> | 17,71 ± 3,36                           | 7,02 ± 2,83            | 15,24 ± 1,77                    | <b>3,65 ± 0,67<sup>а</sup></b> |
| ‘Белый Урожайный’            | 22,09 ± 0,67                    | 11,29 ± 2,13                    | 15,9 ± 3,05                            | 9,29 ± 6,59            | 14,26 ± 1,52 <sup>б</sup>       | 2,11 ± 0,24 <sup>б</sup>       |
| ‘Венгерский’                 | 24,36 ± 0,61                    | 12,10 ± 0,73                    | 12,27 ± 1,34                           | 3,72 ± 1,91            | 14,60 ± 0,79 <sup>б</sup>       | 3,50 ± 0,45                    |
| ‘Горно-Алтайский’            | 25,30 ± 2,1                     | 10,40 ± 3,62                    | 13,94 ± 1,83                           | 12,06 ± 7,38           | 15,06 ± 1,97                    | 3,09 ± 0,81                    |
| ‘Зори Кавказа’               | 24,08 ± 0,64                    | <b>13,22 ± 0,93<sup>а</sup></b> | 12,46 ± 1,15                           | 13,51 ± 8,26           | 15,10 ± 1,02                    | 2,92 ± 0,22                    |
| ‘Киевский Белый’             | 23,77 ± 0,30                    | 11,92 ± 0,65                    | 14,29 ± 3,10                           | 9,59 ± 2,81            | 14,68 ± 0,55                    | 2,03 ± 0,31 <sup>б</sup>       |
| ‘Лола’                       | 26,62 ± 0,37                    | <b>13,73 ± 1,28<sup>а</sup></b> | 15,69 ± 3,74                           | 7,77 ± 1,13            | <b>19,02 ± 3,48<sup>а</sup></b> | 2,09 ± 0,12 <sup>б</sup>       |
| ‘Находка’                    | 20,93 ± 0,63 <sup>б</sup>       | 10,43 ± 0,97                    | 17,33 ± 1,34                           | 11,53 ± 5,79           | 12,13 ± 0,89 <sup>б</sup>       | 2,16 ± 0,03 <sup>б</sup>       |
| ‘Сахалинский<br>Красный’     | 22,54 ± 0,17                    | 11,70 ± 0,57                    | 13,35 ± 2,24                           | 8,13 ± 3,46            | 13,74 ± 0,84 <sup>б</sup>       | 2,27 ± 0,11                    |
| ‘Тамбовский<br>Красный’      | <b>27,66 ± 0,60<sup>а</sup></b> | 12,06 ± 1,61                    | 16,05 ± 3,04                           | 10,53 ± 4,89           | 17,13 ± 0,08                    | 3,14 ± 0,51                    |
| ‘Толбухин’                   | 25,86 ± 1,77                    | 8,89 ± 2,62                     | 18,03 ± 1,98                           | 10,40 ± 6,13           | 11,95 ± 1,16 <sup>б</sup>       | 3,46 ± 0,09                    |
| 2051                         | 26,44 ± 0,40                    | 12,02 ± 2,66                    | 14,98 ± 1,88                           | 13,16 ± 2,35           | 13,88 ± 1,83 <sup>б</sup>       | 2,45 ± 0,33                    |

Примечание: <sup>а, б</sup> – отмечены группы, различия между которыми по среднему значению показателя за три года изучения (2021–2023 гг.) статистически значимы при  $p < 0,05$

Note: <sup>а</sup> and <sup>б</sup> marks mean that the differences between the groups in the average value of the indicator for three years of study (2021–2023) are statistically significant at  $p < 0.05$

невелико (6,04–9,89 мг/100 г). У сорта ‘Běloslupké’ содержание антоцианов сильно варьировало за три года исследования.

### Обсуждение

Изучение отобранных 19 образцов топинамбура установило сортовые различия по продуктивности и биохимическому составу клубней. Ранее при исследовании коллекции топинамбура ВИР также было выявлено значительное варьирование по продуктивности клубней: от 0,63 до 2,08 кг/раст. (Kiru, Nasenko, 2010). В наших опытах продуктивность сорта ‘Находка’ (см. рис. 5) в 2022 г., как и в 2010 г., была средней, составила 1,74 кг/раст., в 2023 г. – высокой, составила 2,68 кг/раст. Топинамбур

‘Находка’ на Майкопской ОС возделывают на протяжении более полувека, и в благоприятных условиях продуктивность образца по-прежнему высокая, соответствует продуктивности 2,4–2,8 кг/куст, отмеченной в 1970-е годы (Pasko, 1974). Однако в наших опытах, по сравнению с ранее полученными результатами, у образцов ‘Тамбовский Красный’, ‘Горно-Алтайский’ и ‘Венгерский’ меньше содержание общих сахаров в клубнях: 17,13%, 15,06% и 14,6% соответственно, по сравнению с данными оценки в 70-е годы прошлого столетия: 20,1%, 19,9% и 20,5% (Pasko, 1974). Тем не менее образцы топинамбура, длительный период возделываемые путем вегетативного воспроизводства без существенного снижения продуктивности (‘Находка’), с высоким содержанием сухого ве-

щества ('Тамбовский Красный'), целесообразно использовать в селекционной работе.

Сорта топинамбура, культивируемые на опытном поле ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», по продуктивности уступают образцам из коллекции ВИР. В наших опытах у сортов 'Violet de Rennes' и 'Киевский Белый' получено с одного растения 2,20–2,67 кг клубней, тогда как в Беларуси – 0,45 и 2,14 кг/раст. соответственно (Leontiev et al., 2014). Продуктивность сортов топинамбура при возделывании в Адыгее выше, чем в условиях Западной Сибири, где у сортов 'Находка' и 'Киевский Белый' получено с одного растения лишь по 0,78 кг клубней, у сорта 'Омский Белый' – 1,20 кг клубней (Khristich et al., 2015). Возможно, что причиной низкой продуктивности топинамбура в Беларуси и Западной Сибири является более короткий период вегетации. Учет продуктивности в наших опытах сделан ранней весной, тогда как другие исследователи проводили учет в октябре. Вероятно, в условиях мягких зим Северо-Кавказского региона у растений топинамбура продолжается постепенный отток пластических веществ из наземной части растений в клубни, обеспечивая постепенное накопление урожая.

В наших опытах отбор клубней для биохимического анализа производился, как и другими исследователями, в октябре. Биохимический состав клубней у сортов 'Омский Белый' и 'Находка' при возделывании в Адыгее был лучше, чем в Западной Сибири, где содержание инулина у этих сортов составило 3,9 и 7,95 % (в наших опытах – 12,11 и 10,43%), содержание белка – 1,6% (в наших опытах – 2,75 и 2,16%) и сахаров – 4,3 и 8,8% (в наших опытах – 14,6 и 12,13%) (Khristich et al., 2015). Очевидно, что причиной выявленных различий в содержании химических компонентов является сортовая реакция топинамбура на условия произрастания. Заметное влияние условий года на содержание химических веществ в клубнях топинамбура установлено многими авторами (Kahana, Arasimovich, 1974; Kosaric et al., 1984; Sawicka et al., 2021). Отмечено, что содержание инулина и суммы всех сахаров может изменяться у одного и того же сорта в зависимости от года в два и более раз (Kosaric et al., 1984). Наши результаты доказывают, что единственный показатель, который мало подвержен влиянию среды и определяется сортовыми особенностями, – это содержание сухого вещества. Содержание остальных соединений: сахаров, инулина, органических кислот, аскорбиновой кислоты, антоцианов варьирует в широких пределах. Необходимо продолжение исследований для установления оптимальных условий накопления инулина и других биологически активных веществ у топинамбура. Наши результаты, в частности, противоречат ранее сделанным выводам о благоприятном влиянии на накопление инулина и общего количества сухих веществ жаркого и сухого периода во вторую половину лета в Молдавии (Kahana, Arasimovich, 1974). В наших опытах самый жаркий и сухой период второй половины лета был в 2023 г., и тогда же отмечено самое низкое содержание инулина.

Большинство исследователей анализировали химический состав клубней топинамбура по небольшому числу показателей: содержанию сухих веществ, инулина, сахаров и витамина С (Liu et al., 2011; Manokhina et al., 2022; Dima et al., 2023). Лишь для ограниченного числа сортов топинамбура опубликованы результаты детального биохимического анализа клубней по содержанию сухого вещества, клетчатки, жиров, протеина, инулина, аскорбиновой кислоты, органических кислот, по аминок-

кислотному составу, макро- и микроэлементам (Rupasova et al., 2015; Sawicka et al., 2020; Sawicka et al., 2021). Сравнение наших результатов с данными литературы позволяет сделать вывод о том, что сорта топинамбура, возделываемые в коллекции ВИР в изученном регионе, по биохимическому составу не уступают сортам топинамбура, возделываемым в европейских странах. По содержанию сухого вещества (более 26%) образцы топинамбура ('Тамбовский Красный', 'Австралийский', 'Лола' и 2051) на Майкопской ОС не уступают, а по содержанию сахаров (до 19%, 'Тамбовский Красный' и 'Лола') и аскорбиновой кислоты (до 17–18 мг/100 г, 'Толбухин') превосходят сорта, которые возделывают в Литве и Польше – 'Albik' и 'Rubik' (Danilcenko et al., 2017; Sawicka et al., 2020; Sawicka et al., 2021). Выход главного биохимического компонента – инулина, а также содержание белка, сухого вещества, суммы сахаров достаточно высоки и свидетельствуют о пищевой ценности выделенных сортов топинамбура.

Органические кислоты содержатся почти во всех свежих плодах и овощах. Они играют важную роль в обмене веществ растений, являются в основном продуктами превращения сахаров, принимают участие в биосинтезе алкалоидов, гликозидов, аминокислот и других биологически активных соединений, служат связующим звеном между отдельными стадиями обмена жиров, белков и углеводов. В клубнях топинамбура содержание органических кислот соответствует этому показателю у овощных культур – капуста, лук репчатый, огурцы свежие, перец сладкий содержат от 0,1 до 0,3 г на 100 г съедобной части (Metlitsky, 1970). В среднем за три года изучения показано, что клубни изученных образцов содержат 0,3% свободных органических кислот.

Антоцианы представляют собой полифенольные соединения, которые придают различную окраску генеративным и вегетативным органам растений. Основная их функция у растений – повышение устойчивости к воздействию неблагоприятных природных факторов, микроорганизмов, вызывающих болезни растений, и вредителей. В данной статье не проводится сопоставление полученных нами данных с ранее опубликованными результатами других исследований, поскольку такие исследования малочисленны и проводились на малых выборках или на других культурах. Так, в работе корейских исследователей (Jung et al., 2016) содержание антоцианов оценивали в выборке из трех образцов топинамбура, что не позволяет корректно произвести сравнение с нашими результатами. Среднее содержание антоцианов в клубнях топинамбура за три года изучения составило 10,46 мг/100 г. В статье А. Е. Соловьевой с соавторами (Solovyeva et al., 2024) оценивалось содержание антоцианов в клубнях картофеля после сбора урожая: оно составляло в среднем 19,75 мг/100 г, что почти вдвое выше, чем в клубнях топинамбура, согласно результатам нашего исследования.

## Заключение

Впервые образцы коллекции топинамбура ВИР оценены по комплексу показателей, характеризующих биохимический состав клубней и содержание в них биологически активных веществ. В результате сравнительного исследования клубней 19 образцов топинамбура (урожаем 2021–2023 гг.) по продуктивности, содержанию сухого вещества, углеводов с учетом инулина, белка, органических кислот, аскорбиновой кислоты, антоцианов пока-

зана изменчивость признаков в зависимости от сортовой принадлежности растений и метеоусловий периода вегетации. Установлено, что генотип определяет содержание сухого вещества в клубнях и этот показатель у изученных образцов топинамбура слабо варьирует в годы, контрастные по тепло- и влагообеспеченности. Содержание инулина, суммы сахаров и белка определяется как сортовыми особенностями, так и условиями периода вегетации. Содержание аскорбиновой кислоты, антоцианов и органических кислот в основном зависело от метеоусловий. Представляет большое интерес дальнейшее изучение влияния внешних факторов (метеоусловий и продолжительности периода вегетации) на продуктивность и качество клубней топинамбура в условиях Северного Кавказа.

По итогам биохимического изучения клубней топинамбура можно рекомендовать их в качестве сырья для создания продуктов функционального назначения (по содержанию сухих веществ, свободных органических и аскорбиновой кислот, растворимых сахаров, инулина, антоцианов), которые содержат физиологически активные, ценные и безопасные ингредиенты с известными физико-химическими характеристиками, с выявленными и научно обоснованными полезными свойствами для сохранения и улучшения здоровья. В коллекции топинамбура ВИР выделены образцы с высокой и стабильной продуктивностью клубней, ценным биохимическим составом, высоким содержанием биологически активных соединений (инулина, аскорбиновой кислоты) и питательных веществ (белка). Среднеспелый сорт 'Австралийский' отличается высокой продуктивностью (на уровне сорта-стандарта) и максимальным содержанием инулина и белка в клубнях по сравнению с остальными изученными образцами топинамбура. Для возделывания на пищевые цели перспективен образец 'Американ', который по продуктивности и биохимическому составу клубней соответствует сорту-стандарту. Как исходный материал в селекции на продуктивность следует использовать образец 'Находка', в селекции на высокое содержание сухого вещества – 'Тамбовский Красный'. Полученные характеристики 19 образцов топинамбура из коллекции ВИР важны для повышения эффективности селекционной работы с топинамбуром, имеют большое практическое значение для расширения площадей возделывания в Российской Федерации и производства функциональных продуктов этой пищевой культуры.

### References / Литература

Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. (comp.). Methods of vitamin analysis: a practicum (Metody analiza vitaminov: praktikum). Kaliningrad: Kaliningrad State University; 2004. [in Russian] (Методы анализа витаминов: практикум / сост. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Калининград: Калининградский государственный университет; 2004). DOI: 10.13140/2.1.1147.7449

Danilcenko H., Jariene E., Slepetic A., Sawicka B., Zalariene S. The distribution of bioactive compounds in the tubers of organically grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) during the growing period. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*. 2017;16(3):97-107. DOI: 10.24326/asphc.2017.3.10

Diederichsen A. Phenotypic diversity of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm preserved by the Canadian genebank. *Helia*. 2010;33(53):1-16. DOI: 10.2298/hel1053001d

Dima M., Diaconu A., Paraschivu M., Cotuna O., Sărățeanu V., Bonciu E. et al. The impact of cultivation system on nutritional quality of Jerusalem artichoke tubers cultivated in semiarid marginal areas. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2023;51(2):13210. DOI: 10.15835/nbha51213210

Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnova-Ikonnikova M.I., Murri I.K. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). Moscow; Leningrad: State Publishers of Agricultural literature; 1952. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И., Мурри И.К. Методы биохимического исследования растений. Москва; Ленинград: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы; 1952).

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 biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). A.I. Ermakov (ed.). 3rd ed. Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович 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).

GOST 13496.4-2019. Interstate standard. Fodder, mixed fodder and raw mixed fodder. Methods of nitrogen and crude protein determination. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 13496.4-2019. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166800> [дата обращения: 15.03.2025].

GOST 24556-89. Interstate standard. Products of fruits and vegetables processing. Methods for determination of vitamin C. Moscow: Standartinform; 1989. [in Russian] (ГОСТ 24556-89. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. Москва: Стандартинформ; 1989). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022765> [дата обращения: 15.03.2025].

GOST 26176-2019. Interstate standard. Fodders, mixed feeds. Methods for determination of soluble and hydrolysable carbohydrates. Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ 26176-2019. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидрализующих углеводов. Москва: Стандартинформ; 2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166802> [дата обращения: 15.03.2025].

GOST 33977-2016. Interstate standard. Fruit and vegetable products. Methods for determination of total solids content. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 33977-2016. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144956> [дата обращения: 15.03.2025].

Hanci F. An outlook of the world Jerusalem artichoke market. In: *ISPEC 13. International Conference on Agriculture, Animal Science and Rural Development: Conference Proceeding Book*. Uşak: Uşak University; 2023. p.1463-1474.

Jung W.Y., Lee S.S., Park H.J., Kim C.W., Kwon S.Y., Jeon J.H. et al. Comparative transcriptome profiling and SSR marker identification in three Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars exhibiting phenotypic variation. *Plant*

- Biotechnology Reports*. 2016;10(6):447-461. DOI: 10.1007/s11816-016-0421-8
- Kahana B.M., Arasimovich V.V. Biochemistry of Jerusalem artichoke (Biokhimiya artishoka). Chisinau: Știința; 1974. [in Russian] (Кахана Б.М., Арасимович В.В. Биохимия топинамбура. Кишинев: Штиинца; 1974).
- Khrstich V.V., Kumpan V.N., Prokhorova N.A., Kling A.P., Chupina M.P. The research of *Helianthus tuberosus* in the conditions of subtaiga zone West Siberia. *Vestnik of Omsk SAU*. 2015;4(20):19-23. [in Russian] (Христич В.В., Кумпан В.Н., Прохорова Н.А., Клинг А.П., Чупина М.П. Сортоизучение топинамбура в условиях подтаежной зоны Западной Сибири. *Вестник Омского ГАУ*. 2015;4(20):19-23).
- Kiru S.; Nasenko I. Use of genetic resources from Jerusalem artichoke collection of N. Vavilov Institute in breeding for bioenergy and health security. *Agronomy Research*. 2010;8(Special Issue III):625-632.
- Kosaric N., Cosentino G.P., Wiecezorek A., Duvnjak Z. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass*. 1984;5(1):1-36. DOI: 10.1016/0144-4565(84)90066-0
- Lebedeva N.V., Smekalova T.N., Lyubchenko A.V. Catalogue of the VIR global collection, Issue 900. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Jerusalem artichoke accessions of foreign origin (Topinambur [*Helianthus tuberosus* L.]: Obraztzy topinambura inostrannogo proiskhozhdeniya). St. Petersburg: VIR; 2019. [in Russian] (Лебедева Н.В., Сmealова Т.Н., Любченко А.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 900. Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.). Образцы топинамбура иностранного происхождения. Санкт-Петербург: ВИР; 2019). DOI: 10.30901/978-5-907145-30-6
- Leontiev V.N., Titok V.V., Dubar D.A., Ignatovets O.S., Lugin V.G., Feskova E.V. Inulin from Jerusalem artichoke: biosynthesis, structure, properties, application (Inulin iz topinambura: biosintez, struktura, svoystva, primeneniye). *Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences*. 2014;9(1):181-185. [in Russian] (Леонтьев В.Н., Титок В.В., Дубарь Д.А., Игнатовец О.С., Лугин В.Г., Фескова Е.В. Инулин из топинамбура: биосинтез, структура, свойства, применение. *Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем*. 2014;9(1):180-185).
- Liava V., Karkanis A., Danalatos N., Tsiropoulos N. Cultivation practices, adaptability and phytochemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A weed with economic value. *Agronomy*. 2021;11(5):914. DOI: 10.3390/agronomy11050914
- Liu Z.X., Han L.P., Steinberger Y., Xie G.H. Genetic variation and yield performance of Jerusalem Artichoke germplasm collected in China. *Agricultural Sciences in China*. 2011;10(5):668-678. DOI: 10.1016/S1671-2927(11)60049-7
- Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N., Starovoitov V.I. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems. *Agronomy*. 2022;12(2):465. DOI: 10.3390/agronomy12020465
- Metlitsky L.V. Biochemistry of fruits and vegetables: monograph. Moscow: Ekonomika; 1970. [in Russian] (Метлицкий Л.В. Биохимия плодов и овощей: монография. Москва: Экономика; 1970).
- Pasko N.M. Jerusalem artichoke breeding in the USSR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1974;53(1):231-244. [in Russian] (Пасько Н.М. Селекция топинамбура в СССР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1974;53(1):231-244).
- Puttha R., Jogloy S., Wangsomnuk P.P., Srijaranai S., Kesmala T., Patanothai A. Genotypic variability and genotype by environment interactions for inulin content of Jerusalem artichoke germplasm. *Euphytica*. 2012;183(1):119-131. DOI: 10.1007/s10681-011-0520-0
- Rossini F., Provenzano M.E., Kuzmanović L., Ruggeri R. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): a versatile and sustainable crop for renewable energy production in Europe. *Agronomy*. 2019;9(9):528. DOI: 10.3390/agronomy9090528
- Rupasova Zh.A., Vasileuskaya T.I., Krinitskaya N.B., Bubnova A.M., Veyevnik A.A., Kuptsov N.S. et al. Biochemical composition of Jerusalem artichoke tubers from the collection of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*. 2015;4(4):23-28. [in Russian] (Рупасова Ж.А., Василевская Т.И., Криницкая Н.Б., Бубнова А.М., Веевник А.А., Купцов Н.С., Попов Е.Г. Пашкевич П.А., Дубарь Д.А. Биохимический состав клубней топинамбура из коллекции Центрального ботанического сада НАН Беларуси. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук*. 2015;4(4):23-28).
- Sawicka B., Danilcenko H., Jariene E., Skiba D., Rachon L., Barbaš P. et al. Nutritional value of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) grown in organic system under Lithuanian and Polish conditions. *Agriculture*. 2021;11(5):440. DOI: 10.3390/agriculture11050440
- Sawicka B., Skiba D., Pszczółkowski P., Aslan I., Sharifi-Rad J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. *Cellular and Molecular Biology*. 2020;66(4):160-177. DOI: 10.14715/cmb/2020.66.4.20
- Serieys H., Souyris I., Gil A., Poinso B., Bervillé A. Diversity of Jerusalem artichoke clones (*Helianthus tuberosus* L.) from the INRA-Montpellier collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2010;57(8):1207-1215. DOI: 10.1007/s10722-010-9560-x
- Smekalova T.N., Lebedeva N.V., Novikova L.Yu. Morphological analysis of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) accessions of different origin from VIR collection. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2019;73(6):502-512. DOI: 10.2478/prolas-2019-0077
- Solovyeva A., Rogozina E., Chalaya N., Sitnikov M. Biochemical composition of tubers of new Russian potato cultivars. *Agronomy*. 2024;14(4):834. DOI: 10.3390/agronomy14040834
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage: [website]. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: [сайт]). URL: <https://reestr.gossortrf.ru> [дата обращения: 14.03.2025].
- Terzić S., Boniface M.C., Marek L., Alvarez D., Baumann K., Gavrilova V. et al. Gene banks for wild and cultivated sunflower genetic resources. *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*. 2020;27(10):9. DOI: 10.1051/ocl/2020004
- Wangsomnuk P.P., Khampa S., Jogloy S., Srivong T., Patanothai A., Fu Y.B. Assessing genetic structure and relatedness of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) germplasm with RAPD, ISSR and SRAP markers. *American Journal of Plant Sciences*. 2011;2(6):753-764. DOI: 10.4236/ajps.2011.26090

*Информация об авторах*

**Наталья Васильевна Лебедева**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.lebedeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6184-0598>

**Александр Васильевич Любченко**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 385746 Россия, Республика Адыгея, Майкопский район, пос. Подгорный, ул. Научная, 1, alexandrlyubchenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2996-8192>

**Алла Евгеньевна Соловьева**, 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, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

**Ирина Викторовна Варганова**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.varganova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5054-6410>

**Елена Вячеславовна Рогозина**, доктор 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, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

*Information about the authors*

**Natalia V. Lebedeva**, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.lebedeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6184-0598>

**Alexandr V. Lyubchenko**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station – branch of VIR, 1 Nauchnaya St., Podgorny Settlement, Maikop District 385746, Republic of Adygea, Russia, alexandrlyubchenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2996-8192>

**Alla E. Solovyeva**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

**Irina V. Varganova**, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.varganova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5054-6410>

**Elena V. Rogozina**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

**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 08.04.2025; одобрена после рецензирования 04.06.2025; принята к публикации 14.07.2025.  
The article was submitted on 08.04.2025; approved after reviewing on 04.06.2025; accepted for publication on 14.07.2025.