

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 574:577
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2024-69-1-7-14>

Поступила в редакцию 14.11.2023
Received 14.11.2023

О. Ю. Баранов, В. В. Рассадина, Ж. М. Анисова

Отделение биологических наук НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

**СОВРЕМЕННЫЕ ТRENДЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ В БЕЛАРУСИ
(К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ОСНОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ)**

Аннотация. Проведен анализ научных публикаций и информационных материалов основных направлений деятельности научных школ Отделения биологических наук НАН Беларуси. Показаны принципы, структура и система проектирования фундаментальных и прикладных исследований в области биологии. Обсуждаются полученные результаты, их внедрение и значение для различных отраслей экономики. Определены перспективные направления инновационного развития биологической науки на основе междисциплинарного взаимодействия.

Ключевые слова: биологическая наука, результаты исследования, достижения, перспективы

Для цитирования: Баранов, О. Ю. Современные тренды и инновационные направления развития биологической науки в Беларуси (к 95-летию со дня основания Национальной академии наук Беларуси) / О. Ю. Баранов, В. В. Рассадина, Ж. М. Анисова // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2024. – Т. 69, № 1. – С. 7–14. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2024-69-1-7-14>

Oleg Yu. Baranov, Valentina V. Rassadina, Zhanna M. Anisova

Department of Biological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

**MODERN TRENDS AND INNOVATIVE DEVELOPMENT AREAS OF BIOLOGICAL SCIENCE IN BELARUS
(TO THE 95TH ANNIVERSARY OF THE FOUNDATION
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS)**

Abstract. An analysis of scientific publications and information materials on the main areas of academic biological scientific school activity is presented (for the National Academy of Sciences of Belarus). The principles, structure and system of fundamental and applied research design in the field of biology is shown. The obtained results, their implementation and significance for various economy sectors are discussed. Promising areas for innovative development of biological science based on interdisciplinary interaction have been identified.

Keywords: biological science, research results, achievements, prospects

For citation: Baranov O. Yu., Rassadina V. V., Anisova Zh. M. Modern trends and innovative development areas of biological science in Belarus (To the 95th anniversary of the foundation of the National Academy of Sciences of Belarus). *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2024, vol. 69, no. 1, pp. 7–14 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2024-69-1-7-14>

Современное состояние биологической науки в Республике Беларусь характеризуется объединением усилий представителей различных направлений – от классического естествознания и общей биологии до компьютерных технологий и инженерной науки, а также активным использованием в исследовательском процессе передовых подходов молекулярной биологии, генетики, биофизики, биоинформатики и компьютерного дизайна. К настоящему времени получены важные фундаментальные результаты в области биохимии, биофизики, генетики и цитологии, физиологии и экологии растений и животных, которые вносят существенный вклад в понимание механизмов функционирования биологических систем животного, растительного и микробного происхождения на молекулярном, клеточном, организменном и экосистемном уровнях.

Биологические системы представляют собой совокупность функционально связанных элементов живой материи, объединенных в единую структурную целостность для реализации определяющих ее свойств и процессов. К биологическим системам относятся сложные струк-

турные объекты разного уровня организации живой материи: биологические макромолекулы, субклеточные органеллы, клетки, органы, организмы, популяции, что, с одной стороны, обуславливает специфичность их свойств и функций, а с другой – определяет необходимость выбора оптимальных принципов и подходов к их изучению и управлению. Стратегия комплексной оценки живых систем является основой для формирования актуальных трендов деятельности отечественных научных школ и определяет дальнейшие перспективы развития биологической науки в Беларуси.

Среди биоорганических макромолекул, рассматриваемых в качестве основы функционирования различных типов биологических систем, особая роль отводится нуклеиновым кислотам как базовому компоненту хранения наследственной информации живых организмов. Изучению структурно-функциональной организации наследственного аппарата различных живых организмов посвящены исследования специалистов отечественных научных школ, возглавляемых в настоящее время академиками Л. В. Хотылевой, А. В. Кильчевским, В. Н. Решетниковым, Э. И. Коломиец, членом-корреспондентом В. Е. Падутовым, а также отдельных коллективов ученых. За последнее время расшифровано значительное количество геномов различных штаммов патогенных и сапрофитных бактерий [1–3], вирусов [4, 5], хлоропластов растений [6, 7], митохондрий грибов [8], растений [9] и животных [10]. На основании полученных данных не только определен полный состав ряда структурных и регуляторных генов, но и разработаны наборы ДНК-маркеров с целью диагностики, решения вопросов систематики и таксономии, селекции, геногеографии, сохранения генетических ресурсов. Для выяснения генетических аспектов организации биологических систем на более высоком уровне выполнен анализ структуры и динамики транскриптома [11], протеома [12], метаболома [13] и фенома [14] ряда живых объектов.

Функциональный подход к анализу геномных данных реализуется путем использования экзомных технологий, что находит практическое применение при диагностике наследственных заболеваний человека и сельскохозяйственных животных [15, 16].

К актуальным методам изучения нуклеиновых макромолекул следует отнести методы отбора на молекулярном [17], хромосомном [18], клеточном [19], организменном [20], популяционном и видовом уровнях [21], методы направленного мутагенеза (включая генетическое редактирование) [22] и генетической трансформации [23]. Отдельным направлением целевого моделирования субклеточных (надмолекулярных) структур являются работы научных школ под руководством академика А. Г. Лобанка и доктора наук В. Г. Вересова в области энзимологии и молекулярного докинга по созданию молекулярно-диагностических, биотехнологических и лечебных препаратов нового поколения [24]. Важными направлениями исследований являются моделирование и синтез искусственных структур наноразмерного уровня, используемых для катализа и регуляции ряда метаболических процессов [25], а также в качестве носителей различных биологически активных агентов и соединений [26].

В настоящее время в Отделении биологических наук изучение надмолекулярных биологических структур связано главным образом с исследованием физиологических процессов, протекающих в мембранных комплексах, хлоропластах и митохондриях клеток. Научными коллективами под руководством членов-корреспондентов Е. И. Слобожаниной и Л. Ф. Кабашниковой проведена оценка состояния и выявлены особенности строения и функционирования клеточных органелл растительного и животного происхождения в условиях стресса и при различных типах патологий [27, 28].

Созданию основ клеточных технологий посвящены работы научных школ, возглавляемых академиками И. Д. Волотовским (человек, животные, растения), Э. И. Коломиец (бактерии и грибы), В. Н. Решетниковым (растения). Это позволило не только разработать концепции организации и функционирования клеточных систем разного типа, но и заложить основы новых направлений в отечественной биотехнологии. Созданы обширные коллекции и банки культур клеток различных биологических объектов, которые являются исходной базой для реализации селекционных и биотехнологических мероприятий, направленных на получение цитологических систем и биопродуктов с заданными свойствами. Области внедрения клеточных технологий – различные отрасли медицины [29], сельского хозяйства [30] и пищевой промышленности [31], декора-

тивное садоводство [32], обеспечение биологической безопасности и охрана окружающей среды [33]. Особую значимость приобретают работы, связанные с использованием *in vitro* культур тканей растений для массового производства клонированного посадочного материала различных видов сельскохозяйственных, декоративных и лесных культур [34].

Особенность организменного уровня – появление способности биологических систем к автономному существованию и самовоспроизводству. У многоклеточных организмов анализ биологических систем данного уровня ассоциирован с изучением индивидуальной изменчивости и ее фенотипического проявления. При этом важным вопросом является как оценка тех или иных признаков и свойств у индивида, так и норма его реакции. Индивидуальная изменчивость живых организмов является одним из базисных элементов селекции и служит основным источником получения хозяйственно ценных признаков. На основе индивидуального отбора белорусскими селекционерами создано большое количество отечественных сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов [35–37]. Ключевая роль в их создании принадлежит белорусской школе генетиков, осуществлявших научное сопровождение селекционного процесса.

Исследование особенностей нормы реакции живых организмов позволило установить механизмы адаптации биологических систем к условиям окружающей среды, а также выявить функциональные нарушения при различных типах абиотического и биотического стресса [38, 39]. Работы в данной области проведены научными коллективами, возглавляемыми академиками Л. В. Хотылевой, А. В. Кильчевским, В. Н. Решетниковым, Н. А. Ламаном, М. Е. Никифоровым, В. В. Усней, членами-корреспондентами В. В. Демидчиком, В. Е. Падутовым, Ж. А. Рупасовой, В. В. Титком, В. И. Торчиком, докторами наук З. М. Алещенковой, А. П. Ермишиным.

Популяционные исследования различных видов живых организмов представлены в научных работах отечественных школ ученых (зоологической, ботанической, генетической и лесоводственной) под руководством академиков А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой, М. Е. Никифорова, Н. А. Ламана, В. Н. Решетникова, В. И. Парфенова, В. В. Усени, членов-корреспондентов Н. И. Дубовец, В. Е. Падутова, В. Н. Прохорова, В. П. Семенченко, докторов наук И. Б. Моссэ, Е. И. Бычковой, В. М. Байчорова. Полученные результаты позволили не только охарактеризовать пространственную структуру популяций, динамику численности, определить направленность протекающих внутривидовых процессов, но и разработать методологические подходы к управлению их биологическими ресурсами. Особую значимость популяционные исследования приобрели в последнее время для оценки состояния и охраны генофондов редких и исчезающих видов флоры и фауны [40], мониторинга чужеродных инвазивных организмов [41, 42], очагов вредителей и болезней [43], рационального использования и улучшения наследственного потенциала сортов растений и пород животных [44–46], совершенствования селекционно-семеноводческой базы лесообразующих видов [47].

Изучение биоценозов как одних из наивысших уровней организации биологических систем имеет ключевое значение для сохранения природы и поддержания экологического равновесия. Понимание взаимосвязей и зависимостей между организмами позволяет разрабатывать эффективные стратегии по охране и управлению экосистемами. Исследования в области экологии живых организмов – одно из классических направлений отечественной биологической школы. В последнее время при изучении экологических систем активно применяются методологические подходы других научных дисциплин. Так, например, использование методов метагеномного анализа позволяет одновременно анализировать всю совокупность генетического материала в различных объектах окружающей среды [48]. Дополнение данных методов транскриптомными, протеомными и метаболомными технологиями дает возможность оценивать функциональность изучаемых биологических систем. Применение на практике экосистемных подходов позволяет решать вопросы, связанные с повышением биологической продуктивности и устойчивости агро- и лесных ценозов, посредством разработки биопрепаратов нового поколения для защиты от вредных организмов, использования экологоориентированных методов регуляции их численности, повышения качества среды обитания и др.

Таким образом, анализ текущих направлений деятельности в области биологии показывает, что они охватывают широкий круг актуальных задач по комплексной оценке структуры и функ-

ционирования различных типов биологических систем. В настоящее время развитие методологии биологической науки направлено на дальнейшее увеличение роли междисциплинарного взаимодействия, обеспечивающего более высокий уровень интеграции фундаментальных знаний и новаций, совершенствование системного подхода к анализу объектов живой природы. Даже несмотря на значительный прогресс, достигнутый в таких областях, как молекулярная биология, геномика, биоинформатика, аддитивные клеточные и нанотехнологии, эффективность их реализации и дальнейшего развития может быть достигнута только путем полной интеграции в общебиологическую систему науки.

Список использованных источников

1. Шмыга, Е. Ю. Физиолого-биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика бактерий – основы препарата микробного «Биопродуктин» / Е. Ю. Шмыга, А. А. Муратова, Э. И. Коломиец // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2023. – Т. 68, № 3. – С. 213–223.
2. Muratova, A. A. Genome analysis of *Pseudomonas brassicacearum* S-1 – an antagonist of crop pathogens / A. A. Muratova, A. E. Akhremchuk, L. N. Valentovich // *Biotechnologia Acta*. – 2021. – Vol. 14, N 2. – P. 47–58. <https://doi.org/10.15407/biotech14.02.047>
3. Молекулярно-генетический и функциональный анализ генома бактерий *Bacillus velezensis* БИМ В-439Д / А. В. Бережная [и др.] // Приклад. биохим. и микробиол. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 366–377.
4. The bacteriophage Pf-10 – A component of the biopesticide “Multiphage” used to control agricultural crop diseases caused by *Pseudomonas syringae* / О. А. Kazantseva [et al.] // *Viruses*. – 2022. – Vol. 14, N 1. – Art. 42. <https://doi.org/10.3390/v14010042>
5. Генетическое разнообразие вируса SARS-CoV-2, циркулирующего на территории Республики Беларусь / Е. Л. Гасич [и др.] // Молекулярная диагностика и биобезопасность-2021. COVID-19: эпидемиология, диагностика, профилактика: сб. тез. онлайн-конгресса с междунар. участием, Москва, 28–29 апр. 2021 г. / ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора; под ред. академика РАН В. Г. Акимкина. – М., 2021. – С. 71–72.
6. Экспрессия хлоропластного генома: современные представления и экспериментальные пути изучения / М. Г. Синявская [и др.] // Вавилов. журн. генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 5. – С. 511–528.
7. Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome / К. А. Shestibratov [et al.] // *Front. Genet.* – 2021. – Vol. 12. – Art. 625764. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.625764>
8. Структурно-функциональная организация митохондриального генома фитопатогенного гриба *Phoma* sp.1 / С. В. Пантелеев [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2022. – Т. 67, № 4. – С. 359–373.
9. Высокопроизводительное секвенирование цитоплазматических геномов граба обыкновенного *Carpinus betulus* L. (Betulaceae) / Д. И. Каган [и др.] // Клеточная биология и биотехнология растений: II междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–31 мая 2018 г.: тез. докл. / Белорус. гос. ун-т, Ин-т леса НАН Беларуси; редкол.: И. И. Смолич (отв. ред.), В. В. Демидчик, В. Е. Падутов. – Минск, 2018. – С. 24–25.
10. Пантелеев, С. В. Изучение структурных особенностей COI-гаплотипов вершинного короода (*Ips acuminatus* Gyll.) на юге Беларуси / С. В. Пантелеев, Л. В. Можаровская, О. Ю. Баранов // Лесное хозяйство: материалы докл. 84-й науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием), Минск, 3–14 февраля 2020 г. / Белорус. гос. технолог. ун-т; отв. за вып. И. В. Войтов. – Минск, 2020. – С. 75–78.
11. Можаровская, Л. В. Сравнительный анализ экспрессионной активности генов проростков сосны обыкновенной в условиях холодового стресса / Л. В. Можаровская // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2021. – Т. 30. – С. 95–104.
12. Скрининг ферментативной активности микромицетов Восточной Антарктиды / Е. Д. Василевская [и др.] // Современные проблемы экспериментальной ботаники: сб. материалов III междунар. науч. конф. молодых ученых, Минск–Нарочь, 25–29 сентября 2023 г. / Ин-т эксперим. ботаники [и др.]. – Минск, 2023. – С. 156–158.
13. Чижик, О. В. Биологически активные соединения плодов и листьев *Vaccinium corymbosum* L. / О. В. Чижик, А. М. Деева, В. Н. Решетников // Бюл. Глав. бот. сада. – 2020. – № 4. – С. 45–51.
14. Ковалевич, А. И. Программно-технологический комплекс компьютерной биометрии семенного и посадочного материала лесных древесных видов / А. И. Ковалевич, А. П. Кончиц, А. И. Сидор // Тр. БГТУ. № 1. Лес. хоз-во. – 2013. – № 1. – С. 23–25.
15. Генетические факторы риска развития метаболического синдрома / М. Д. Амелянович [и др.] // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2013. – Т. 16. – С. 24–31.
16. Альфа-маннозидоз – генетический дефект в белорусской популяции абердин-ангусского крупного рогатого скота / Е. Л. Романишко [и др.] // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2023. – Т. 34. – С. 41–48.
17. Zinchenko, A. I. Construction of plasmid enriched with immunostimulatory CpG motifs / A. I. Zinchenko, S. V. Kvach, A. S. Shchokolova // *East. Eur. Sci. J.* – 2014. – N 3. – P. 10–13.
18. Создание и характеристика линии мягкой пшеницы с центрической транслокацией T2DL.2RL / Ю. Н. Иванова [и др.] // Вавилов. журн. генетики и селекции. – 2019. – Т. 23, № 7. – С. 846–855.
19. Новые биомедицинские клеточные продукты для иммунотерапии заболеваний человека / Н. Г. Антонец [и др.] // Наука и инновации. – 2022. – № 2 (228). – С. 15–23.

20. Изучение полиморфизма генов R2R3 Мув транскрипционных факторов культур семейства *Solanaceae* и гена Mub114 рода *Brassica* в связи с регуляцией биосинтеза антоцианов / О. Г. Бабак [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 414–424.
21. Лесообразующие виды / А. И. Ковалевич [и др.] // Генетические основы селекции растений: в 4 т. / НАН Беларуси, Ин-т генетики и цитологии; науч. ред.: А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – 2-е изд., испр., перераб. и доп. – Минск, 2020. – Т. 2: Частная генетика растений / Н. А. Картель [и др.]. – Гл. 11. – С. 602–605.
22. Шишлова-Соколовская, А. М. Разработка CRISPR/Cas9 системы для геномного редактирования гена *NtPDS* табака (*Nicotiana tabacum*) / А. М. Шишлова-Соколовская, Е. П. Хмилевская, О. Ю. Урбанович // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2022. – Т. 33. – С. 47–57.
23. Agrobacterium-mediated transformation of *Hyacinthus orientalis* with thaumatin II gene to control fungal diseases / E. A. Popowich [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2007. – Vol. 90, N 3. – P. 237–244. <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9254-z>
24. Using PD-L1 full-length structure, enhanced induced fit docking and molecular dynamics simulations for structural insights into inhibition of PD-1/PD-L1 interaction by small-molecule ligands / V. A. Urban [et al.] // Mol. Simulation. – 2022. – Vol. 48, N 14. – P. 1269–1283. <https://doi.org/10.1080/08927022.2022.2080824>
25. Ultrasonic Formation of Fe₃O₄ reduced graphene oxide–salicylic acid nanoparticles with switchable antioxidant function / L. Mikhnavets [et al.] // ACS Biomater. Sci. Eng. – 2022. – Vol. 8, N 3. – P. 1181–1192. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c01603>
26. Prospects of cationic carbosilane dendronized gold nanoparticles as non-viral vectors for delivery of anticancer siRNAs siBCL-xL and siMCL-1 / V. Abashkin [et al.] // Pharmaceutics. – 2021. – Vol. 13, N 10. – Art. 1549. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13101549>
27. Структурно-функциональное состояние хлоропластов в связи с формированием иммунного ответа при инфицировании проростков ярового ячменя грибным патогеном *Bipolaris sorokiniana* / Л. Ф. Кабашникова [и др.] // Ботаника. Исследования. – 2020. – № 49. – С. 275–290.
28. Морфологические основы патологии / Н. К. Ахматова [и др.]; под ред. В. П. Волкова. – Новосибирск: СибАК, 2015. – 176 с.
29. Вологовский, И. Стволовые клетки: перспективы развития клеточных технологий / И. Вологовский, Е. Лобанок, Е. Лойко // Наука и инновации. – 2011. – № 1 (95). – С. 17.
30. Коломиец, Э. И. Год науки в Республике Беларусь: достижения и перспективы развития отечественной микробиологии / Э. И. Коломиец // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. / Ин-т микробиологии НАН Беларуси; под ред. Э. И. Коломиец, А. Г. Лобанка. – Минск, 2017. – Т. 9. – С. 3–8.
31. Шуляк, Т. Л. Создание низколактозных ферментированных молочных продуктов / Т. Л. Шуляк, О. И. Скокова, Н. А. Головнева // Переработка молока. – 2017. – № 10 (216). – С. 42–46.
32. Титок, В. Биотехнологический комплекс для ускоренного разведения ценных видов растений / В. Титок, В. Решетников, А. Веевник // Наука и инновации. – 2019. – № 6 (196). – С. 29–31.
33. Биологический способ очистки загрязненных вод, отводимых с рыбоводных хозяйств в водные объекты / В. Ю. Агеев [и др.] // Вопр. рыб. хоз-ва Беларуси. – 2017. – № 33. – С. 98–104.
34. Генетические основы селекции растений: в 4 т. / А. В. Кильчевский [и др.]; науч. ред. А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т генетики и цитологии. – Минск: Беларус. навука, 2012. – Т. 3: Биотехнология в селекции растений. Клеточная инженерия. – 489 с.
35. Банк генетических ресурсов растений / Ф. Привалов [и др.] // Наука и инновации. – 2016. – № 10 (164). – С. 24–27.
36. Шейко, И. П. Модели развития белорусского животноводства / И. П. Шейко, Р. И. Шейко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 4. – С. 504–512.
37. Коломиец, Э. И. Коллекция непатогенных микроорганизмов Института микробиологии НАН Беларуси / Э. И. Коломиец // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2016. – № 4. – С. 48–52.
38. Smolikova, G. N. Role of chlorophylls and carotenoids in seed tolerance to abiotic stressors / G. N. Smolikova, N. A. Laman, O. V. Boriskevich // Rus. J. Plant Physiol. – 2011. – Vol. 58, N 6. – P. 965–973. <https://doi.org/10.1134/S1021443711060161>
39. Кильчевский, А. В. Эколого-генетические аспекты селекции растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2009. – Т. 9. – С. 14–18.
40. ДНК-штрихкодирование как инструмент экологического мониторинга и оценки видовой разнообразия редких видов растений / Н. В. Савина [и др.] // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2020. – Т. 29. – С. 25–36.
41. Семенченко, В. Чужеродные виды животных в естественных экосистемах Беларуси / В. Семенченко // Наука и инновации. – 2018. – № 7 (185). – С. 20–25.
42. Оценка распространения некоторых инвазивных видов растений на территории г. Минска / Л. С. Чумаков [и др.] // Экол. вестн. – 2014. – № 1 (27). – С. 104–112.
43. Усеня, В. В. Оценка численности вершинного (*Ips acuminatus* Gyll.) и шестизубчатого (*Ips sexdentatus* Voern.) короedов в сосновых насаждениях с применением феромонных препаратов / В. В. Усеня, Н. С. Блинова // Тр. БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 1 (216). – С. 84–88.
44. Урбанович, О. Ю. Идентификация и генетическое разнообразие сортов сливовидных культур Беларуси / О. Ю. Урбанович, П. В. Кузмицкая, А. В. Кильчевский // Генетика. – 2017. – Т. 53, № 7. – С. 805–815.

45. Молекулярные маркеры в изучении хозяйственно-ценных признаков сельскохозяйственных культур / Н. А. Картель [и др.] // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2009. – Т. 9. – С. 19–27.
46. ДНК-скрининг рецессивных мутаций, обуславливающих развитие наследственных дефектов (BLAD-и SVM-синдромов) в популяции КРС в Беларуси / М. Е. Михайлова [и др.] // Молекуляр. и приклад. генетика. – 2019. – Т. 27. – С. 90–96.
47. Сохранение и рациональное использование лесов на селекционно-генетической основе / А. Ковалевич [и др.] // Наука и инновации. – 2022. – № 4. – С. 12–17.
48. Михаленко, Е. Центр изучения микробиома: фундаментальные и прикладные исследования / Е. Михаленко, Е. Гузенко, А. Кильчевский // Наука и инновации. – 2022. – Т. 1, № 8. – С. 27–31.

References

1. Shmyga E. Yu., Muratova A. A., Kolomiets E. I. Physiological-biochemical and molecular-genetic characteristics of bacteria – the basis of the microbial product “Bioproductin”. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2023, vol. 68, no. 3, pp. 213–223 (in Russian).
2. Muratova A. A., Akhremchuk A. E., Valentovich L. N. Genome analysis of *Pseudomonas brassicacearum* S-1 – an antagonist of crop pathogens. *Biotechnologia Acta*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 47–58. <https://doi.org/10.15407/biotech14.02.047>
3. Berezhnaya A. V., Evdokimova O. V., Valentovich L. N., Sverchkova N. V., Titok M. A., Kolomiets E. I. Molecular genetic and functional analysis of the genome of the bacteria *Bacillus velezensis* BIM V-439D. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied biochemistry and microbiology], 2019, vol. 55, no. 4, pp. 366–377 (in Russian).
4. Kazantseva O. A., Buzikov R. M., Pilipchuk T. A., Valentovich L. N., Kazantsev A. N., Kalamiyets E. I., Shadrin A. M. The bacteriophage PF-10 – A component of the biopesticide “Multiphage” used to control agricultural crop diseases caused by *Pseudomonas syringae*. *Viruses*, 2022, vol. 14, no. 1, art. 42. <https://doi.org/10.3390/v14010042>
5. Gasich E. L., Bulda K. Yu., Okhremchuk A. E., Valentovich L. N., Drozd A. M., Kras'ko A. G., Shmeleva N. P., Dashkevich A. M., Mikhalenko E. P., Kil'chevskii A. V. Genetic diversity of the SARS-CoV-2 virus circulating in the territory of the Republic of Belarus. *Molekulyarnaya diagnostika i biobezopasnost'-2021. COVID-19: epidemiologiya, diagnostika, profilaktika: sbornik tezisev Onlain-kongressa s mezhdunarodnym uchastiem (Moskva, 28–29 aprelya 2021 goda)* [Molecular diagnostics and biosafety-2021. COVID-19: epidemiology, diagnosis, prevention: collection of abstracts of the Online congress with international participation (Moscow, April 28–29, 2021)]. Moscow, 2021, pp. 71–72 (in Russian).
6. Sinyavskaya M. G., Danilenko N. G., Lukhanina N. V., Shimkevich A. M., Davydenko O. G. Expression of the chloroplast genome: modern concepts and experimental ways of studying. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov journal of genetics and selection], 2015, vol. 19, no. 5, pp. 511–528 (in Russian).
7. Shestibratov K. A., Baranov O. Yu., Mescherova E. N., Kiryanov P. S., Pantelev S. V., Mozharovskaya L. V., Krutovsky K. V., Padutov V. E. Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome. *Frontiers in Genetics*, 2021, vol. 12, art. 625764. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.625764>
8. Pantelev S. V., Mozharovskaya L. V., Kir'yanov P. S., Kagan D. I., Baranov O. Yu. Structural and functional organization of the mitochondrial genome of the phytopathogenic fungus *Phoma* sp.1. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2022, vol. 67, no. 4, pp. 359–373 (in Russian).
9. Kagan D. I., Pantelev S. V., Mozharovskaya L. V., Baranov O. Yu., Padutov V. E. High-throughput sequencing of cytoplasmic genomes of the common hornbeam *Carpinus betulus* L. (Betulaceae). *Kletochnaya biologiya i biotekhnologiya rastenii: tezisy dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Minsk, 28–31 maya 2018 goda)* [Cell biology and plant biotechnology: abstracts of the II International scientific and practical conference (Minsk, May 28–31, 2018)]. Minsk, 2018, pp. 24–25 (in Russian).
10. Pantelev S. V., Mozharovskaya L. V., Baranov O. Yu. Study of the structural features of COI haplotypes of the pine bark beetle (*Ips acuminatus* Gyll.) in the south of Belarus. *Lesnoe khozyaistvo: materialy dokladov 84-i nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoi nauki (s mezhdunarodnym uchastiem), Minsk, 03–14 fevralya 2020 goda* [Forestry: materials of reports of the 84th scientific and technical conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation), Minsk, February 03–14, 2020]. Minsk, 2020, pp. 75–78 (in Russian).
11. Mozharovskaya L. V. Comparative analysis of the expression activity of genes in Scots pine seedlings under cold stress conditions. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2021, vol. 30, pp. 95–104 (in Russian).
12. Vasilevskaya E. D., Ivanov O. A., Shevtsov N. A., Lazarevich D. K. Screening of enzymatic activity of micromycetes of East Antarctica. *Sovremennye problemy eksperimental'noi botaniki: sbornik materialov III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh (Minsk–Naroch', 25–29 sentyabrya 2023 goda)* [Modern problems of experimental botany: collection of materials of the III International scientific conference of young scientists (Minsk–Naroch, September 25–29, 2023)]. Minsk, 2023, pp. 156–158 (in Russian).
13. Chizhik O. V., Deeva A. M., Reshetnikov V. N. Biologically active compounds of fruits and leaves of *Vaccinium corymbosum* L. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2020, no. 4, pp. 45–51 (in Russian).

14. Kovalevich A. I., Konchits A. P., Sidor A. I. Software and technological complex for computer biometrics of seed and planting material of forest tree species. *Trudy BGTU. N 1. Lesnoe khozyaistvo* [Proceedings of BSTU. No 1. Forestry], 2013, no. 1, pp. 23–25 (in Russian).
15. Amel'yanovich M. D., Morozik P. M., Gonchar A. L., Mosse I. B. Genetic risk factors for the development of metabolic syndrome. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2013, vol. 16, pp. 24–31 (in Russian).
16. Romanishko E. L., Mikhailova M. E., Kireeva A. I., Sheiko R. I. Alpha-mannosidosis is a genetic defect in the Belarusian population of Aberdeen-Angus cattle. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2023, vol. 34, pp. 41–48 (in Russian).
17. Zinchenko A. I., Kvach S. V., Shchokolova A. S. Construction of plasmid enriched with immunostimulatory CpG motifs. *East European Science Journal*, 2014, no. 3, pp. 10–13.
18. Ivanova Yu. N., Solovei L. A., Loginova D. B., Miroshnikova E. E., Dubovets N. I., Silkova O. G. Creation and characteristics of a bread wheat line with centric translocation T2DL.2RL. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov journal of genetics and selection], 2019, vol. 23, no. 7, pp. 846–855 (in Russian).
19. Antonevich N., Goncharov A., Timokhina O., Rynda E., Minich Ya., Prokhorov A., Mokhort T., Chizh K. New biomedical cell products for immunotherapy of human diseases. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2022, no. 2 (228), pp. 15–23 (in Russian).
20. Babak O. G., Anisimova N. V., Nikitinskaya T. V., Nekrashevich N. A., Yatsevich K. K., Drozd E. V., Fateev D. A., Berensen F. A., Artem'eva A. M., Kil'chevskii A. V. Study of polymorphism of the R2R3 Myb genes of transcription factors of crops of the *Solanaceae* family and the Myb114 gene of the *Brassica* genus in connection with the regulation of anthocyanin biosynthesis. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2022, vol. 66, no. 4, pp. 414–424 (in Russian).
21. Kovalevich A. I., Padutov V. E., Sidor A. I., Konchits A. P., Ivanovskaya S. I., Baranov O. Yu., Kagan D. I., Markevich T. S., Razumova O. A., Padutov A. V. Forest-forming species. *Genetic basis of plant breeding. 2nd ed. Volume 2. Particular plant genetics. Ch. 2*. Minsk, 2020, pp. 602–605 (in Russian).
22. Shishlova-Sokolovskaya A. M., Khmylevskaya E. P., Urbanovich O. Yu. Development of a CRISPR/Cas9 system for genomic editing of the *NtPDS* gene of tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2022, vol. 33, pp. 47–57 (in Russian).
23. Popowich E. A., Firsov A. P., Mitiouchkina T. Y., Filipenya V. L., Dolgov S. V., Reshetnikov V. N. Agrobacterium-mediated transformation of *Hyacinthus orientalis* with thaumatin II gene to control fungal diseases. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2007, vol. 90, no. 3, pp. 237–244. <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9254-z>
24. Urban V. A., Nazarenko P. S., Perepechko S. A., Veresov V. G. Using PD-L1 full-length structure, enhanced induced fit docking and molecular dynamics simulations for structural insights into inhibition of PD-1/PD-L1 interaction by small-molecule ligands. *Molecular Simulation*, 2022, vol. 48, no. 14, pp. 1269–1283. <https://doi.org/10.1080/08927022.2022.2080824>
25. Mikhnavets L., Abashkin V., Khamitsevich H., Shcharbin D., Burko A., Krekoten N., Radziuk D. Ultrasonic formation of Fe₃O₄ reduced graphene oxide–salicylic acid nanoparticles with switchable antioxidant function. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 1181–1192. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.1c01603>
26. Abashkin V., Pędziwiatr-Werbicka E., Gómez R., de la Mata F. J., Dzmitruk V., Shcharbin D., Bryszewska M. Prospects of cationic carbosilane dendronized gold nanoparticles as non-viral vectors for delivery of anticancer siRNAs siBCL-xL and siMCL-1. *Pharmaceutics*, 2021, vol. 13, no. 10, art. 1549. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13101549>
27. Kabashnikova L. F., Savchenko G. E., Abramchik L. M., Domanskaya I. N., Viks T. N., Pashkevich L. V., Pilipovich T. S., Dovbnyuk Yu. N., Shpilevskii S. N., Martysyuk A. V. Structural and functional state of chloroplasts in connection with the formation of an immune response during infection of spring barley seedlings with the fungal pathogen *Bipolaris sorokiniana*. *Botanika. Issledovaniya* [Botany. Research], 2020, no. 49, pp. 275–290 (in Russian).
28. Akhmatova N. K., Akhmetova M. I., Belov G. V., Bondarenko V. V., Volkov V. P., Ekubov K. R. [et al.]. *Morphological foundations of pathology*. Novosibirsk, SibAK Publ., 2015. 176 p. (in Russian).
29. Volotovskii I., Lobanok E., Loiko E. Stem cells: prospects for the development of cellular technologies. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2011, no. 1 (95), p. 17 (in Russian).
30. Kolomiets E. I. Year of science in the Republic of Belarus: achievements and prospects for the development of domestic microbiology. *Mikrobynye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty: sbornik nauchnykh trudov. Tom 9* [Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects: collection of scientific papers. Vol. 9]. Minsk, 2017, pp. 3–8 (in Russian).
31. Shulyak T. L., Skokova O. I., Golovneva N. A. Creation of low-lactose fermented dairy products. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 2017, no. 10 (216), pp. 42–46 (in Russian).
32. Titok V., Reshetnikov V., Veevnik A. Biotechnological complex for the accelerated breeding of valuable plant species. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2019, no. 6 (196), pp. 29–31 (in Russian).
33. Ageets V. Yu., Voronova G. P., Kolomiets E. I., Sverchkova N. V., Petrashevskaya T. V., Proskurina I. V., Adamovich B. V. Biological method of purification of contaminated water discharged from fish farms to water bodies. *Voprosy rybnogo khozyaistva Belarusi* [Issues of fisheries in Belarus], 2017, no. 33, pp. 98–104 (in Russian).
34. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. (eds.). *Genetic basis of plant breeding. Vol. 3. Biotechnology in plant breeding. Cellular engineering*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2012. 489 p. (in Russian).
35. Privalov F., Kil'chevskii A., Grib S., Kozlovskaya Z., Kovalevich A. Bank of plant genetic resources. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2016, no. 10 (164), pp. 24–27 (in Russian).

36. Sheiko I. P., Sheiko R. I. Models of development of Belarusian livestock farming. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2018, vol. 62, no. 4, pp. 504–512 (in Russian).
37. Kolomiets E. I. Collection of non-pathogenic microorganisms of the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2016, no. 4, pp. 48–52 (in Russian).
38. Smolikova G. N., Laman N. A., Boriskevich O. V. Role of chlorophylls and carotenoids in seed tolerance to abiotic stressors. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2011, vol. 58, no. 6, pp. 965–973. <https://doi.org/10.1134/S1021443711060161>
39. Kilchevsky A. V., Khotyleva L. V. Ecological and genetic aspects of plant breeding. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2009, vol. 9, pp. 14–18 (in Russian).
40. Savina N. V., Kubrak S. V., Mil'ko L. V., Kil'chevskii A. V., Nikitina E. V., Tozhibaev K. Sh. DNA barcoding as a tool for environmental monitoring and assessment of species diversity of rare plant species. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2020, vol. 29, pp. 25–36 (in Russian).
41. Semenchenko V. Alien species of animals in natural ecosystems of Belarus. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2018, no. 7 (185), pp. 20–25 (in Russian).
42. Chumakov L. S., Maslovskii O. M., Chuiko E. V., Sysoi I. P., Shevkunova A. V., Shimanovich R. V. Assessment of the distribution of some invasive plant species on the territory of Minsk. *Ekologicheskii vestnik* [Ecological bulletin], 2014, no. 1 (27), pp. 104–112 (in Russian).
43. Usenya V. V., Blinova N. S. Estimation of the number of apical (*Ips acuminatus* Gyll.) and six-toothed (*Ips sexdentatus* Boern.) bark beetles in pine plantations using pheromone preparations. *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaistvo, prirodoop'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources], 2019, no. 1 (216), pp. 84–88 (in Russian).
44. Urbanovich O. Yu., Kuzmitskaya P. V., Kil'chevskii A. V. Identification and genetic diversity of varieties of plum crops in Belarus. *Genetika* [Genetics], 2017, vol. 53, no. 7, pp. 805–815 (in Russian).
45. Kartel' N. A., Malyshev S. V., Urbanovich O. Yu., Khatskevich A. A. Molecular markers in the study of economically valuable traits of agricultural crops. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2009, vol. 9, pp. 19–27 (in Russian).
46. Mikhailova M. E., Sheiko R. I., Kireeva A. I., Romanishko E. L., Kamysh N. A., Tikhanovich N. I., Belyak O. A., Bayakhov A. N. DNA screening of recessive mutations causing the development of hereditary defects (BLAD and CVM syndromes) in the cattle population in Belarus. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and applied genetics], 2019, vol. 27, pp. 90–96 (in Russian).
47. Kovalevich A., Padutov V., Baranov O., Sidor A., Kagan D., Ivanovskaya S. Conservation and rational use of forests on a selection-genetic basis. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2022, no. 4, pp. 12–17 (in Russian).
48. Mikhalenko E., Guzenko E., Kil'chevskii A. Center for the Study of Microbiome: Fundamental and Applied Research. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2022, vol. 1, no. 8, pp. 27–31 (in Russian).

Information about the authors

Oleg Yu. Baranov – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Associate Professor, Academician-Secretary of the Department of Biological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: betula-belarus@mail.ru

Valentina V. Rassadina – Ph. D. (Biol.), Deputy Academician-Secretary of the Department of Biological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rasval@presidium.bas-net.by

Zhanna M. Anisova – Ph. D. (Biol.), Scientific Secretary of the Department of Biological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anisova@presidium.bas-net.by

Информация об авторах

Баранов Олег Юрьевич – член-корреспондент, д-р биол. наук, доцент, академик-секретарь Отделения биологических наук НАН Беларуси (ул. Независимости, 66, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: betula-belarus@mail.ru

Рассадина Валентина Вацлавовна – канд. биол. наук, заместитель академика-секретаря Отделения биологических наук НАН Беларуси (ул. Независимости, 66, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rasval@presidium.bas-net.by

Анисова Жанна Михайловна – канд. биол. наук, ученый секретарь Отделения биологических наук НАН Беларуси (ул. Независимости, 66, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: anisova@presidium.bas-net.by