

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen105794>

Персоналия



Междисциплинарные подходы для решения задач селекции и генетики растений: к юбилею академика Н.А. Колчанова

Е.К. Хлесткина^{1, 2}, В.К. Хлесткин^{2, 3}¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия;² Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия;³ Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста, г. Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

Николай Александрович Колчанов известен в первую очередь как основатель российской биоинформатики и системной компьютерной биологии, признанный специалист мирового уровня в этом направлении. Отличительные особенности стратегии, выбранной академиком Колчановым в отношении фундаментальных и практических задач, — это комплексный взгляд на проблему и умение сформировать междисциплинарную команду для ее решения. Краткий обзор посвящен системному практико-ориентированному подходу в области генетики, геномики, биоинформатики и селекции растений, которым в деятельности Н.А. Колчанова уделено особое внимание в последние годы. Отражена взаимосвязь этой деятельности с утверждением значимых правовых актов в области генетики. Приводятся аналитические срезы публикационной активности коллективов, вовлеченных в эту деятельность, отражающие время активного развития новых трендов и мультидисциплинарный характер исследований.

Ключевые слова: биоинформатика; биоресурсные коллекции; генетические технологии; картофелеводство; системная биология; феномика.

Как цитировать:

Хлесткина Е.К., Хлесткин В.К. Междисциплинарные подходы для решения задач селекции и генетики растений: к юбилею академика Н.А. Колчанова // Экологическая генетика. 2022. Т. 20. № 1. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen105794>

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen105794>
Personal

Interdisciplinary approaches in plant breeding and genetics: on the anniversary of Academician N.A. Kolchanov

Elena K. Khlestkina^{1, 2}, Vadim K. Khlestkin^{2, 3}

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources – VIR, Saint Petersburg, Russia;

² Institute of Cytology and Genetics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia;

³ All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of farm animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Pushkin, Saint Petersburg, Russia

Nikolai Alexandrovich Kolchanov is known primarily as the founder of Russian bioinformatics and systems computer biology, a recognized world-class specialist in this field. Distinctive features of the strategy chosen by Academician Kolchanov in relation to fundamental and practical tasks are a comprehensive view of the problem and the ability to form an interdisciplinary team to solve it. A brief review is devoted to a systematic practice-oriented approach in the field of genetics, genomics, bioinformatics and plant breeding, which have been given special attention in the work of N.A. Kolchanov in recent years. The relationship of this activity with the approval of significant legal acts in the field of genetics is reflected. Analytics in the publication activity of the teams involved in this activity are given, reflecting the time of active development of new trends and the multidisciplinary nature of research.

Keywords: bioinformatics; biocollections; genetic technologies; potato production; systems biology; phenomics.

To cite this article:

Khlestkina EK, Khlestkin VK. Interdisciplinary approaches in plant breeding and genetics: on the anniversary of Academician N.A. Kolchanov. *Ecological genetics*. 2022;20(1):61–68. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen105794>

Received: 11.01.2022

Accepted: 16.02.2022

Published: 29.03.2022

ВВЕДЕНИЕ

Николай Александрович Колчанов, академик РАН, профессор, доктор биологических наук, 75-летие которого мы празднуем в 2022 г., известен в первую очередь как основатель российской биоинформатики и системной компьютерной биологии, признанный специалист мирового уровня в этом направлении. В число широко используемых достижений Н.А. Колчанова входят разработка и развитие баз данных по регуляции транскрипции [1, 2], инструменты для *in silico* реконструкции трехмерной структуры белковых последовательностей на основе информации о первичной структуре кодирующих последовательностей [3, 4], инструменты для анализа и реконструкции генных сетей [5, 6].

Отличительные особенности стратегии, выбранной академиком Колчановым в отношении фундаментальных и практических задач, — это комплексный взгляд на проблему и умение сформировать междисциплинарную команду для ее решения. Н.А. Колчанов является автором/соавтором множества научных работ по разным отраслям знаний (рис. 1).

Генетические технологии и генетические ресурсы — как рождались современные программы

Сегодня, когда бурно развиваются генетические технологии, и это направление получило ощутимую поддержку в нашей стране с момента издания Указа Президента Российской Федерации № 680 «О развитии генетических технологий в Российской Федерации» от 28 ноября 2018 г., и разработки и реализации в соответствии с данным указом Федеральной научно-технической программы (ФНТП) развития генетических технологий на 2019–2027 гг. (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2019 г.

№ 479), нужно вспомнить и о том, что еще в 2014 г. в преддверии создания первых в стране федеральных исследовательских центров под руководством академика Н.А. Колчанова была разработана и представлена комплексная программа «Генетические технологии», как стратегия развития Института цитологии и генетики СО РАН, директором которого он был на тот момент. Вскоре институт был реорганизован в Федеральный исследовательский центр (ФИЦ) путем присоединения Сибирского НИИ растениеводства и селекции. Позже у Центра появились еще 2 филиала в сфере медицинских наук [7]. Сегодня Николай Александрович Колчанов является научным руководителем Федерального исследовательского центра «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН), а заложенная им в основу развития Центра программа «Генетические технологии» активно реализуется по нескольким направлениям. В итоге, фундаментальные направления института (генетика растений, генетика животных, генетика человека) после его реорганизации в ФИЦ «приросли» звеном внедрения. Благодаря реализации программы развития, наряду с прорывными фундаментальными исследованиями, в ФИЦ получили приоритет работы полного цикла. Часть направлений, связанных с внедрением генетических технологий в селекционную практику и с развитием промышленной микробиологии, реализуются сегодня в рамках Центра геномных исследований мирового уровня «Курчатовский геномный центр», в консорциуме по организации которого участвует ИЦиГ СО РАН [8].

В Федеральной научно-технической программе развития генетических технологий на 2019–2027 гг. отдельное внимание уделено биоресурсным коллекциям (БРК). Восприятие значимости биоресурсных коллекций для современных геномных и генетических исследований, для развития генетических технологий изначально



Рис. 1. Распределение публикаций Н.А. Колчанова по отраслям знаний (по версии Web of Science). Доступ по ссылке: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>. Дата обращения: 31.12.2021

сформировалось в стенах самих научных институтов — держателях коллекций генетических ресурсов по самым разным направлениям: микроорганизмы, культуры клеток человека и животных, биологические материалы человека, генетические ресурсы культурных растений, сельскохозяйственные животные и др. Понимание ценности биоресурсных коллекций, в том числе и для перехода на новый технологический уклад, связанный с развитием биоэкономики, вышло за пределы научных институтов и получило широкое распространение и в обществе, благодаря, в том числе, результатам системной работы по вопросам биоресурсных коллекций, проводимой рабочей группой по поддержке и развитию биоресурсных коллекций секции «Науки о жизни» Научно-координационного совета при Федеральном агентстве научных организаций (ФАНО) России. Возглавлял рабочую группу академик Н.А. Колчанов. В целях формирования единых подходов к рациональному использованию действующих биоресурсных коллекций рабочая группа разработала первичные описательные форматы основных типов биоресурсных коллекций [9]. Затем информацию о БРК институты ФАНО России вводили в две Интернет-системы: в систему сводной отчетности «Парус» и на сайт Центров коллективного пользования научным оборудованием (ЦКП) и уникальных научных установок (УНУ) Минобрнауки России [10]. Однако эти информационные ресурсы не были предназначены для детального описания БРК, необходимого для их рейтингования. В связи с этим, для того чтобы дать держателям коллекций возможность детального представления информации о БРК, а также для ведения документооборота по ним, под руководством Н.А. Колчанова в ИЦиГ СО РАН была разработана первая версия специализированного информационного портала БРК [11, 12]. На конец 2018 г. на портале было зарегистрировано 252 коллекции, держателями которых являются научно-исследовательские организации, подведомственные Минобрнауки России [13].

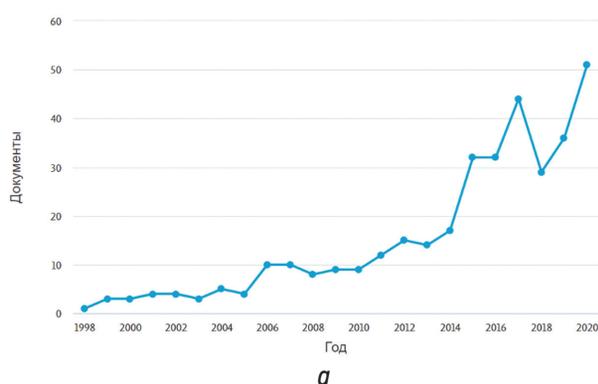
Результатом системной работы по вопросам БРК в рамках деятельности рабочей группы, а затем и ФНТП развития генетических технологий стала поддержка соответственно в 2017 г. — 65 коллекций, а в 2021 г. — 15 крупных проектов, охватывающих деятельность не менее 30 значимых коллекций. Ожидаемый результат этих проектов, продолжающихся в 2022–2023 гг., — совершенствование стандартов и развитие функций данных коллекций, развитие информационной инфраструктуры, повышение доступности и востребованности образцов и всесторонней их характеристики, включая генотипирование [14]. Следующий этап — интеграция коллекций одинакового типа по сетевому принципу организации под эгидой создаваемых крупных биоресурсных центров. Первый пилотный проект по созданию такого центра уже реализуется в рамках Указов Президента Российской Федерации № 44 «О Национальном центре генетических ресурсов растений» и № 45 «О Межведомственной комиссии по вопросам формирования, сохранения и использования коллекций генетических ресурсов растений» от 8 февраля 2022 г. [15].

Междисциплинарный комплексный подход к решению задач растениеводства

В последние годы академик Н.А. Колчанов вместе со своими соратниками и учениками уделяет особое внимание системному практико-ориентированному подходу в области генетики, геномики и биоинформатики растений (рис. 2). О перспективе использования цифровых и генетических технологий в селекции растений Н.А. Колчанов подробно рассказал на научной сессии общего собрания Президиума РАН в октябре 2016 г. [16] (рис. 2).

Широкую известность в этой области приобрели выполняемые при поддержке и участии Н.А. Колчанова работы по математическому моделированию процессов, связанных с ростом и развитием растений [17–19], по феномике растений [20]. Во время выхода этих первых

Документы по годам



Документы по авторам

Сравнить количества документов максимум по 15 авторам.

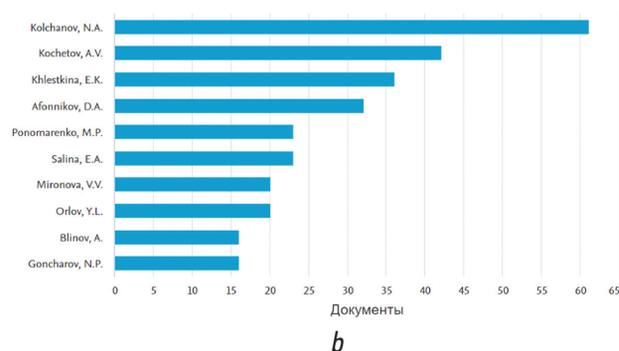


Рис. 2. Динамика публикационной активности ИЦиГ СО РАН по направлению биоинформатики растений (а) и индивидуальный авторский вклад в эту публикационную активность (б): поиск в базе данных Scopus по алгоритму AF-ID (Institute of Cytology and Genetics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 60068684) AND ((plant)) AND (bioinformatics). Доступ по ссылке: <https://www.scopus.com/>. Дата обращения: 29.12.2021

публикаций [17, 18, 20] названные тренды были исключительно новыми не только в России, но и в мировой науке. Одновременно при активном содействии Н.А. Колчанова в стенах руководимого им института формировался еще один новый тренд, основанный на междисциплинарном подходе с использованием методов генетики, селекции и химии растительного сырья, — речь о применении генетических ресурсов в селекции отечественных сортов растений для целенаправленного создания сырья на промышленную наработку с акцентом на прижизненную модификацию главных возобновляемых природных органических продуктов — целлюлозы и крахмала. При непосредственном участии Н.А. Колчанова был создан и зарегистрирован сорт мискантуса Сорановский [21], растения которого способны успешно и контролируемо произрастать в условиях Сибири, практически не обедняя почву азотом, но эффективно конвертируя атмосферный углекислый газ в природный полимер целлюлозу. Плантация мискантуса Сорановского в год способна давать до 10–17 тонн с гектара лигноцеллюлозной массы, состоящей в среднем на 45 % из альфа-целлюлозы. Полученная из мискантуса целлюлоза по своим физико-химическим свойствам пригодна для использования в качестве сырья для производства бумаги, эффективных абсорбентов и прочих продуктов отечественной промышленности. Другим объектом исследований с учетом этого нового тренда стал картофель, как источник крахмала с заданными свойствами. Крахмал — один из немногих доступных в крупнотоннажных количествах возобновляемых органических продуктов. Группой авторов совместно с Н.А. Колчановым был тщательно рассмотрен потенциал крахмала как исходного сырья для одностадийного превращения в важные химические продукты для целого ряда отраслей промышленности [22]. Были также оценены гены-мишени картофеля из числа структурных и регуляторных генов биосинтеза крахмала на предмет управления при помощи селекционно-генетических технологий прижизненным формированием свойств этого незаменимого продукта и, следовательно, диверсифицировать и делать более экономичным его применение в промышленности [23].

Сегодня реализуется и имеет широкое освещение в информационном пространстве подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг. (программа и подпрограмма утверждены постановлениями Правительства Российской Федерации № 996 от 25.08.2017 и № 559 от 05.05.2018 соответственно). Однако мало кто знает, что в преддверии выхода Указа Президента Российской Федерации № 350 от 21 июля 2016 г. «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства», давшего старт дальнейшему появлению ФНТП развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., уже сформировался

комплексный программный проект, из которого потом выросли и ФНТП, и ее подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации», а также целый ряд отдельных проектов фундаментальных и фундаментально-ориентированных исследований. Речь о Комплексной программе по развитию картофелеводства, подготовка которой была поручена академику Н.А. Колчанову в декабре 2015 г. Она включала пять групп мероприятий, охватывавших всю совокупность работ для обеспечения полной импортнезависимости производственного цикла выращивания семенного картофеля, в том числе программа подразумевала не только исследования в сфере селекции, семеноводства и разработки средств защиты, но и комплексное развитие инфраструктуры для этих исследований, разработку и опытное производство отечественного оборудования, мероприятия по трансферу технологий и стимулированию спроса на российские разработки и мероприятия по подготовке и переподготовке кадров. Целостность подхода стала одновременно сильной стороной комплексной программы, но вместе с тем такой подход опережал свое время, требуя согласованных действий сразу нескольких федеральных органов исполнительной власти, десятков подведомственных им организаций и индустрии. Только 5 лет спустя в стране были приняты значимые управленческие решения, создавшие благоприятный фон и механизмы для выполнения таких комплексных межведомственных программ. А тогда, пять лет назад, отдельные части комплексной программы были реструктурированы, и из них выросли упомянутая подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» ФНТП развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., в которой вместе с производством сконцентрировались поисковые научные исследования, тогда как фундаментальные и фундаментально-ориентированные исследования реализовались в рамках отдельных специально объявленных программах Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

Проекты ФИЦ ИЦиГ СО РАН, вошедшие в число победителей в этих конкурсах, активизировали в Федеральном центре междисциплинарные исследования по картофелю (рис. 3). Речь о проведенных в 2016–2021 гг. исследованиях, поддержанных РФФИ № 17-29-0800 «Идентификация геномных маркеров для направленной селекции сортов картофеля с заданными свойствами крахмала для пищевой промышленности» в рамках конкурса междисциплинарных исследований, РФФИ № 17-44-540510 «Расширение генетического разнообразия генофонда картофеля по технологическим свойствам и переработке крахмала в Новосибирской области» в рамках регионального конкурса и РФФИ № 16-16-04073 «Генетические маркеры хозяйственно-ценных признаков картофеля» по конкурсу 2016 г. на получение грантов по приоритетному направлению деятельности РФФИ «Проведение

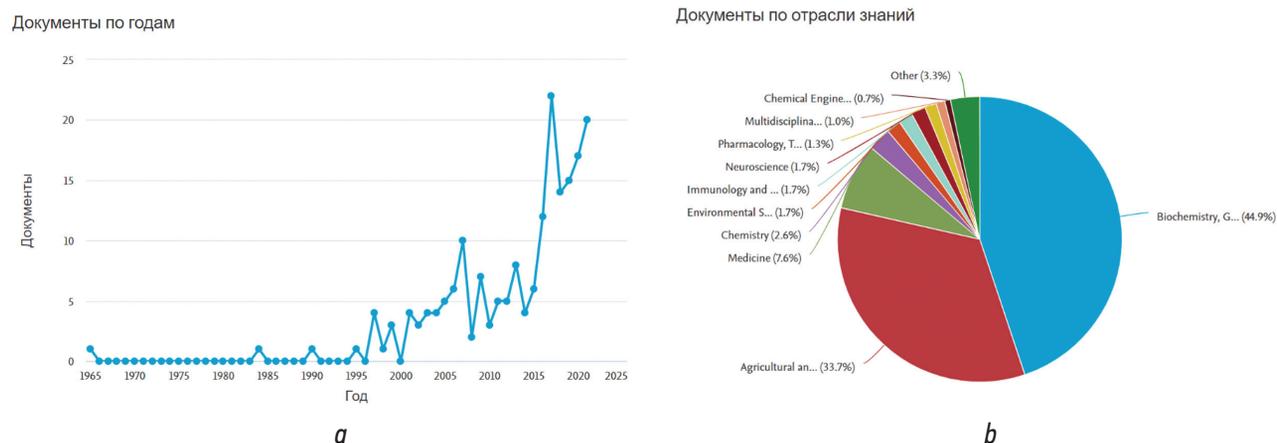


Рис. 3. Динамика публикационной активности ИЦиГ СО РАН по исследованию картофеля (a) и распределение публикаций по отраслям знаний (b): поиск в базе данных Scopus по алгоритму AF-ID (Institute of Cytology and Genetics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 60068684) AND (potato). Режим доступа: <https://www.scopus.com/>. Дата обращения: 29.12.2021

фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований по поручениям (указаниям) Президента Российской Федерации» («Научные исследования в области картофелеводства», «Научные исследования в области птицеводства»). В эти проекты ФИЦ ИЦиГ СО РАН были привлечены более 10 участников до 39 лет — молодых ученых, аспирантов, студентов, что безусловно было важно в свете задачи по подготовке высоко квалифицированных кадров в сфере современной селекции и семеноводства картофеля.



Рис. 4. Академик Н.А. Колчанов на демонстрационных посевах картофеля во время Объединенного научного мероприятия Научно-практическая конференция «Теоретические основы и прикладные исследования в селекции и семеноводстве картофеля» (31.07–01.08.2017) и «День поля: Эколого-географическое и производственное испытание новых сортов картофеля» (01.08–02.08.2017), проводимого в Новосибирске в рамках подготовки подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы». (Фото любезно предоставлено В.С. Ковалем, ИЦиГ СО РАН.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В подготовке Комплексной программы по развитию картофелеводства и в деятельности рабочей группы по поддержке и развитию биоресурсных коллекций под руководством академика Колчанова (рис. 4) участвовали десятки профильных организаций, несколько десятков ученых разных специальностей, которые стали дружной командой. За несколько месяцев общения и совместной работы молодые ученые и управленцы, участвовавшие в процессе, получили пример не только масштабного подхода и широты мышления, но и пример умения в большом коллективе найти подход к людям, никого не оттолкнуть, каждому найти достойное место. Равно как и со своими учениками, проработавшими рядом с ним годы, так же щедро и бескорыстно Николай Александрович делится своим опытом, знаниями и умениями с каждым новым учеником и соратником, кто неравнодушен к развитию науки и созданию практических достижений, столь необходимых нашей стране.

Среди прочих наград и званий академик Н.А. Колчанов был награжден в 2017 г. «Орденом Дружбы» за вклад в отечественную и мировую науку и ее практическое воплощение [7].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Статья подготовлена при поддержке проекта FWNR-2022-0017 ИЦиГ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heinemeyer T., Wingender E., Reuter I., et al. Databases on transcriptional regulation: TRANSFAC, TRRD and COMPEL // *Nucleic Acids Res.* 1998. Vol. 26, No. 1. P. 362–367. DOI: 10.1093/nar/26.1.362
2. Kolchanov N.A., Podkolodnaya O.A., Ananko E.A., et al. Transcription Regulatory Regions Database (TRRD): its status in 2000 // *Nucleic Acids Res.* 2000. Vol. 28, No. 1. P. 298–301. DOI: 10.1093/nar/28.1.298
3. Ivanisenko V.A., Pintus S.S., Grigorovich D.A., Kolchanov N.A. PDBSiteScan: a program for searching for active, binding and posttranslational modification sites in the 3D structures of proteins // *Nucleic Acids Res.* 2004. Vol. 32, No. S2. P. W549–W554. DOI: 10.1093/nar/gkh439
4. Ivanisenko V.A., Pintus S.S., Grigorovich D.A., Kolchanov N.A. PDBSite: a database of the 3D structure of protein functional sites // *Nucleic Acids Res.* 2005. Vol. 33, No. S1. P. D183–D187. DOI: 10.1093/nar/gki105
5. Kolpakov F.A., Ananko E.A., Kolesov G.B., Kolchanov N.A. GeneNet: a gene network database and its automated visualization // *Bioinformatics.* 1998. Vol. 14, No. 6. P. 529–537. DOI: 10.1093/bioinformatics/14.6.529
6. Ananko E.A., Podkolodny N.L., Stepanenko I.L., et al. GeneNet: a database on structure and functional organisation of gene networks // *Nucleic Acids Res.* 2002. Vol. 30, No. 1. P. 398–401. DOI: 10.1093/nar/30.1.398
7. bionet.nsc.ru [интернет]. Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН [дата обращения: 29.12.2021]. Доступ по ссылке: <https://www.bionet.nsc.ru/>
8. nrckigc.ru [интернет]. Курчатовский геномный центр [дата обращения: 29.12.2021]. Доступ по ссылке: <https://nrckigc.ru/>
9. docs.cntd.ru. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [интернет]. Письмо ФАНО России от 14 июля 2016 года № 007-18.2-11/МК-502 [дата обращения: 29.12.2021]. Доступ по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/456079505/>
10. ckr-rf.ru [интернет]. Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации: центры коллективного пользования научным оборудованием и уникальные научные установки [дата обращения: 29.12.2021]. Доступ по ссылке: <https://ckr-rf.ru/>
11. pm.cytogen.ru [интернет]. Проектный офис управления биоресурсными коллекциями [дата обращения: 29.12.2021]. Доступ по ссылке: <http://pm.cytogen.ru/>
12. Лашин С.А., Афонников Д.А., Генаев М.А., и др. Информационная система по биоресурсным коллекциям институтов ФАНО России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 3. С. 386–393. DOI: 10.18699/VJ18.360
13. Колчанов Н.А. Биоресурсные коллекции институтов Министерства науки и высшего образования: опыт инвентаризации и развития // Сборник тезисов Международного конгресса «VII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы»; Июнь 18–22, 2019. Санкт-Петербург: Издательство ВВМ, 2019. С. 399. Режим доступа: <https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2018/vogis/VII%20VSGVB%20Congress%20Abstracts%202019.pdf>
14. minobrnauki.gov.ru [интернет]. Протокол № 2021-1930-ФП5-9/3 [дата обращения: 29.12.2021]. Доступ по ссылке: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/72e/ezs426e0fjhm3tdybtbpgx01rubwklr3.PDF>
15. Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 1. С. 9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30
16. Колчанов Н.А., Кочетов А.В., Салина Е.А., и др. Состояние и перспективы использования маркер-ориентированной и геномной селекции растений // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87, № 4. С. 348–354. DOI: 10.7868/S0869587317040107
17. Mironova V.V., Omelyanchuk N.A., Yosiphon G., et al. A plausible mechanism for auxin patterning along the developing root // *BMC Syst Biol.* 2010. Vol. 4. ID98. DOI: 10.1186/1752-0509-4-98
18. Mironova V.V., Omelyanchuk N.A., Novoselova E.S., et al. Combined *in silico* / *in vivo* analysis of mechanisms providing for root apical meristem self-organization and maintenance // *Ann Bot.* 2012. Vol. 110, No. 2. P. 349–360. DOI: 10.1093/aob/mcs069
19. Omelyanchuk N.A., Wiebe D.S., Novikova D.D., et al. Auxin regulates functional gene groups in a fold-change-specific manner in *Arabidopsis thaliana* roots // *Sci Rep.* 2017. Vol. 7. ID2489. DOI: 10.1038/s41598-017-02476-8
20. Genaev M.A., Doroshkov A.V., Pshenichnikova T.A., et al. Extraction of quantitative characteristics describing wheat leaf pubescence with a novel image-processing technique // *Planta.* 2012. Vol. 236. P. 1943–1954. DOI: 10.1007/s00425-012-1751-6
21. Слынько Н.М., Горячковская Т.Н., Шеховцов С.В., и др. Биотехнологический потенциал новой технической культуры — мискантус сорт Сорановский // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17, № 4/1. P. 765–771.
22. Khlestkin V.K., Peltek S.E., Kolchanov N.A. Review of direct chemical and biochemical transformations of starch // *Carbohydr Polym.* 2018. Vol. 181. P. 460–476. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.10.035
23. Хлесткин В.К., Пельтек С.Е., Колчанов Н.А. Гены-мишени для получения сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с заданными свойствами крахмала (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 1. С. 25–36. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.25eng

REFERENCES

1. Heinemeyer T, Wingender E, Reuter I, et al. Databases on transcriptional regulation: TRANSFAC, TRRD and COMPEL. *Nucleic Acids Res.* 1998;26(1):362–367. DOI: 10.1093/nar/26.1.362
2. Kolchanov NA, Podkolodnaya OA, Ananko EA, et al. Transcription Regulatory Regions Database (TRRD): its status in 2000. *Nucleic Acids Res.* 2000;28(1):298–301. DOI: 10.1093/nar/28.1.298
3. Ivanisenko VA, Pintus SS, Grigorovich DA, Kolchanov NA. PDBSiteScan: a program for searching for active, binding and posttranslational modification sites in the 3D structures of proteins. *Nucleic Acids Res.* 2004;32(S2):W549–W554. DOI: 10.1093/nar/gkh439
4. Ivanisenko VA, Pintus SS, Grigorovich DA, Kolchanov NA. PDBSite: a database of the 3D structure of protein functional sites. *Nucleic Acids Res.* 2005;33(S1):D183–D187. DOI: 10.1093/nar/gki105

5. Kolpakov FA, Ananko EA, Kolesov GB, Kolchanov NA. GeneNet: a gene network database and its automated visualization. *Bioinformatics*. 1998;14(6):529–537. DOI: 10.1093/bioinformatics/14.6.529
6. Ananko EA, Podkolodny NL, Stepanenko IL, et al. GeneNet: a database on structure and functional organization of gene networks. *Nucleic Acids Res*. 2002;30(1):398–401. DOI: 10.1093/nar/30.1.398
7. bionet.nsc.ru [Internet]. Federal'nyi issledovatel'skii tsentr Institut tsitologii i genetiki Sibirskogo otdeleniya RAN [cited: 2021 Dec 29]. Available from: <https://www.bionet.nsc.ru/> (In Russ.)
8. nrckgc.ru [Internet]. Kurchatovskii genomnyi tsentr [cited: 2021 Dec 29]. Available from: <https://nrckgc.ru/> (In Russ.)
9. docs.cntd.ru. Ehlektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov [Internet]. Pis'mo FANO Rossii ot 14 iyulya 2016 goda N007–18.2–11/MK-502 [cited: 2021 Dec 29]. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/456079505/> (In Russ.)
10. ckp-rf.ru [Internet]. Nauchno-tekhnologicheskaya infrastruktura Rossiiskoi Federatsii: tsentry kollektivnogo pol'zovaniya nauchnym oborudovaniem i unikal'nye nauchnye ustanovki [cited: 2021 Dec 29]. Available from: <https://ckp-rf.ru/> (In Russ.)
11. pm.cytogen.ru [Internet]. Proektnyi ofis upravleniya bioresursnymi kollektiyami [cited: 2021 Dec 29]. Available from: <http://pm.cytogen.ru/> (In Russ.)
12. Lashin SA, Afonnikov DA, Genaev MA, et al. An integrated information system on bioresource collections of the FASO of Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):386–393. (In Russ.) DOI: 10.18699/VJ18.360
13. Kolchanov NA. Bioresursnye kolleksii institutov Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya: opyt inventarizatsii i razvitiya. *Book of Abstracts VII international congress and associate symposiums of Vavilov society of geneticists and breeders on the 100th anniversary of the department of genetics of Saint Petersburg state University*. June 18–22, 2019. Saint Petersburg, Russia: Izdatel'stvo VVM, 2019. P. 399. Available from: <https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2018/vogis/VII%20VSGB%20Congress%20Abstracts%202019.pdf> (In Russ.)
14. minobrnauki.gov.ru [Internet]. Protokol No 2021–1930–ФП5–9/3 [cited: 2021 Dec 29]. Available from: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/72e/ezs426e0fjhm3tdytpbgx01rubwklr3.PDF> (In Russ.)
15. Khlestkina EK. Geneticheskie resursy Rossii: ot kolleksii k bioresursnym tsentram. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(1):9–30. (In Russ.) DOI: 10.30901/2227–8834–2022–1–9–30
16. Kolchanov NA, Kochetov AV, Salina EA, et al. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya marker-orientirovannoi i genomnoi selektsii rastenii. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2017;87(4):348–354. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0869587317040107
17. Mironova VV, Omelyanchuk NA, Yosiphon G, et al. A plausible mechanism for auxin patterning along the developing root. *BMC Syst Biol*. 2010;4:98. DOI: 10.1186/1752–0509–4–98
18. Mironova VV, Omelyanchuk NA, Novoselova ES, et al. Combined *in silico* / *in vivo* analysis of mechanisms providing for root apical meristem self-organization and maintenance. *Ann Bot*. 2012;110(2):349–360. DOI: 10.1093/aob/mcs069
19. Omelyanchuk NA, Wiebe DS, Novikova DD, et al. Auxin regulates functional gene groups in a fold-change-specific manner in *Arabidopsis thaliana* roots. *Sci Rep*. 2017;7:2489. DOI: 10.1038/s41598–017–02476–8
20. Genaev MA, Doroshkov AV, Pshenichnikova TA, et al. Extraction of quantitative characteristics describing wheat leaf pubescence with a novel image-processing technique. *Planta*. 2012;236:1943–1954. DOI: 10.1007/s00425–012–1751–6
21. Slynko NM, Goryachkovskaya TN, Shekhovtsov SV, et al. The biotechnological potential of the new crop, *Miscanthus* cv. Soranovskii. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(4/1):765–771. (In Russ.)
22. Khlestkin VK, Peltek SE, Kolchanov NA. Review of direct chemical and biochemical transformations of starch. *Carbohydr Polym*. 2018;181:460–476. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.10.035
23. Khlestkin VK, Peltek SE, Kolchanov NA. Target genes for development of potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars with desired starch properties (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(1):25–36. (In Russ.) DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.25eng

ОБ АВТОРАХ

***Елена Константиновна Хлесткина**, д-р биол. наук, профессор, директор; Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42–44; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>; eLibrary SPIN: 3061–1429; Scopus: 6603368411; e-mail: director@vir.nw.ru

Вадим Камилевич Хлесткин, канд. хим. наук, директор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9605-8028>; eLibrary SPIN: 6367–2970; Scopus: 56368129500; e-mail: khlestkin@bionet.nsc.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

***Elena K. Khlestkina**, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Director; address: 42–44, Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 190000, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>; eLibrary SPIN: 3061–1429; Scopus: 6603368411; e-mail: director@vir.nw.ru

Vadim K. Khlestkin, Cand. Sci. (Chem.), Director; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9605-8028>; eLibrary SPIN: 6367–2970; Scopus: 56368129500; e-mail: khlestkin@bionet.nsc.ru