

Промышленная экология и биотехнологии. Экология (по отраслям)

УДК 575:581.1:004.67
ГРНТИ 34.03.23

ЦИФРОВИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ КАК ОСНОВА БИОНФОРМАТИКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Мишечкина Валерия Сергеевна

стажер-исследователь лаборатории геномных исследований в растениеводстве
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального
исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения
Российской академии наук
Россия, п. Московский

Колоколова Наталья Николаевна

к.б.н., доцент кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной литературы
Тюменский Государственный Университет
Россия, г. Тюмень

Аннотация: В настоящее время перед исследователями разных областей, особенно перед учеными-биологами, ботаниками, генетиками, биоинженерами и биоинформатиками, стоит проблема систематизации полученных ранее и накапливаемых сейчас данных. Все чаще приходится обращаться к цифровым технологиям для облегчения и ускорения собственной работы.

Важную роль в упрощении работы и повышении ее качества играют цифровизация учета, планирования и контроллинга; big data, нейронные сети для обработки и выделения связей событий; предиктивное обслуживание оборудования; цифровизация персонала, цифровой анализ, моделирование и предсказание свойств продукта. В статье рассматривается вопрос цифровизации данных посредством электронных каталогов и баз данных; представлены доводы о результативном применении электронных баз данных и каталогов в различных областях биологических исследований, а так же примеры их эффективного использования. Создание и модификация баз данных является одной из наиболее востребованных технологий прикладной разработки информационных систем в области защиты растений в отечественной и мировой практике, на региональном и глобальном уровнях. В процесс создания электронной базы данных исследования входит компьютерный анализ полученных данных с применением методов математической статистики и моделирования, представление результатов исследования в численном и/или графическом виде. Преимущества применения цифровых технологий для упорядочивания результатов исследований заключаются в объединении научных достижений в единую базу данных в мировом масштабе, упрощении машинного анализа, систематизации данных, прогнозировании биологических процессов с помощью моделирования полученных ранее данных, а значит в ускорении научного исследования и получении необходимого, ожидаемого результата.

Ключевые слова: электронные базы данных, биоинформатика, искусственный интеллект, цифровизация биологических данных, моделирование, генетика, генные банки, компьютерные технологии.

DIGITALIZATION OF SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS AS THE BASIS OF BIONFORMATICS IN THE MODERN WORLD

Mishechkina Valerija S.

Trainee researcher laboratory of genomic research in crop production
SRIA for NTUR – Branch of Tyumen Scientific Centre SB RAS
Russian Federation, Moskowskiy

Kolokolova Natalia N.

PhD, Associate Professor of the Department of Botany, Biotechnology and Landscape Literature
Tyumen State University
Russia, Tyumen

Abstract: Currently, researchers in various fields, especially biologists, botanists, geneticists, bioengineers and bioinformatics, face the problem of systematization of previously obtained and currently accumulated data. Scientists are increasingly turning to digital technologies to facilitate and accelerate their own work.

Digitalization of accounting, planning and controlling; big data, neural networks for processing and highlighting event connections; predictive maintenance of equipment; digitalization of personnel, digital analysis, modeling and prediction of product properties play an important role in simplifying work and improving its quality. The article discusses the issue of digitalization of data through electronic catalogs and databases; arguments are presented about the effective use of electronic databases and catalogs in various fields of biological research, as well as examples of their effective use. Creation and modification of databases is one of the most demanded technologies of applied development of information systems in the field of plant protection in domestic and world practice, at the regional and global levels. The process of creating an electronic database of research includes computer analysis of the data obtained using methods of mathematical statistics and modeling, presentation of research results in numerical and/or graphical form. The advantages of using digital technologies to organize research results are to combine scientific achievements into a single database on a global scale, simplify machine analysis, systematize data, predict biological processes using modeling of previously obtained data, and therefore accelerate scientific research and obtain the necessary, expected result.

Keywords: electronic databases, bioinformatics, artificial intelligence, digitalization of biological data, modeling, genetics, gene banks, computer technologies.

Проблемой научных исследований в мировом масштабе является огромное количество получаемой информации. В каждой стране, так или иначе, есть наука, а, следовательно, и научные достижения, которые накапливаются с каждым годом. Результаты достижений публикуют в статьях, монографиях или делают доклады. Помимо этого, ученые и научные школы, десятилетиями собирают результаты своих изысканий в импровизированные базы данных, которые постепенно наполняясь становятся крайне трудны для анализа и выявления в них определенных закономерностей [1-4]. В конечном итоге, в мире накапливается огромная масса информации, которую крайне проблематично охватить современным ученым без какой-либо систематизации. Нужно также отметить, что и форма представления результатов деятельности каждого ученого отличается, что усложняет ее поиск и анализ. Здесь следует упомянуть такое научное направление, как генетика. В настоящее время скопилось огромное количество информации по генам, механизмам их передачи, и с каждым исследованием становится все сложнее найти необходимую информацию, которая часто оказывается ключевой.

Однако решением проблемы является создание баз данных. Компьютерные технологии позволяют создавать базы данных различных классификаций: иерархические, объектно-ориентированные, реляционные, сетевые. Например, Protein Data Bank (PDB) –

база данных, содержащая информацию о трехмерной структуре белков и нуклеиновых кислот, полученную методами рентгеновской кристаллографии, ЯМР-спектроскопии и криоэлектронной микроскопии. Это позволяет ученым, исследователям со всего мира объединять и дополнять получаемые знания, увеличивая результативность собственной работы.

Базы данных необходимы для вероятностного моделирования процессов, что дает возможность прогнозирования результатов. Человек не может просчитать и предугадать абсолютно все исходы события, собрать полный пакет постоянно меняющейся и дополняющейся информации. Следовательно, необходима помощь технологий, искусственного интеллекта, которые будут способны постоянно сканировать мировую сеть и выбирать нужные данные по определенной теме, тем самым пополняя базы данных. Биологические науки постоянно развиваются и увеличиваются в объемах накопленных данных, ежедневно появляются новые данные о составе генома различных видов растений, животных, вирусов-возбудителей болезней, а создаваемые и повсеместно используемые базы данных помогают в поиске, анализе и интерпретации этой информации. Появление новых высокопроизводительных экспериментальных технологий в молекулярной биологии привело к информационному взрыву и накоплению гигантского объема экспериментальных данных, для анализа которых широко используются методы биоинформатики, системной компьютерной биологии, искусственного интеллекта и машинного обучения [5]. Ученый-биоинформатик, используя весь спектр компьютерных методов анализа, может прочесть структуру ДНК, нуклеиновых кислот, белков, сделать микрофотографии, чтобы увидеть структуру, распознать маркеры, указывающие на наличие определенных патологий, и в том числе создать базу данных, в которой будет храниться вся полученная информация.

Современные ученые проводят научные исследования в условиях кардинальных изменений и удивительных интеграций в области биологии и информатики. Как пишет К. Шваб в своей работе сейчас – эпоха становления четвертой промышленной революции, когда наблюдается ее скачкообразное, не линейное, развитие [6]. Четвертая промышленная революция – это совокупность известных технологий и их взаимодействие на физическом, цифровом и биологическом уровнях [7]. Академик Н.Н. Моисеев, один из авторов математических моделей по расчету последствий ядерной войны, считает, что понятие «информация» до сих пор не имеет четкого и общепринятого определения и любое определение весьма спорно. Он утверждает, что строгого и достаточно универсального определения информации не только нет, но и быть не может, так как это понятие чересчур широко. Его можно применять, когда изучаются объекты, способные к «целенаправленным действиям», так как описать процедуры целенаправленного поведения (в том числе процедуры принятия решений) без использования термина «информация» невозможно [8]. Тем не менее, с информацией нам приходится работать постоянно и повсеместно – обрабатывать, анализировать, интерпретировать, предсказывать результаты лабораторных опытов и исследований, а также производственных процессов. Сложности могут возникнуть на любом из этапов, однако, благодаря постоянно развивающимся цифровым технологиям, значимой доли ошибок можно избежать уже сейчас. Важную роль в переходе к цифровизации играет распространение технологий Интернета и использование данных, полученных с устройства, для оптимизации и принятия автоматизированных решений. Упрощению работы и повышению ее качества способствуют цифровизация учета, планирования и контроллинга; big data, нейронные сети для обработки и выделения связей событий; предиктивное обслуживание оборудования; цифровизация персонала, цифровой анализ, моделирование и предсказание свойств продукта. Вот часть тем, которые сегодня являются достаточно актуальными в реализации [7].

Цифровизации подвергается огромное количество данных из разных областей исследований. Подобные модификации стали внедряться и в области биологических

изучений, например, при анализе фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур. В настоящее время возможно проведение фитосанитарного мониторинга на качественно ином уровне – благодаря применению новейших способов работы с информацией на каждом его этапе [9].

Создание и модификация баз данных является одной из наиболее востребованных технологий прикладной разработки информационных систем в области защиты растений в отечественной и мировой практике. Так, лишь в ВИЗР за последнее десятилетие создано около десятка новых веб-ресурсов, характеризующих фитосанитарную ситуацию в России [10]. База данных, содержащая сведения об основных вредителях и болезнях сельскохозяйственных культур, представлена на сайте AgroFlora.ru. Создана электронная информационная система PQR ЕОКЗР по карантину растений. В базе данных AgriS представлена информация, посвященная вопросам сельского хозяйства и смежных областей. На данный момент в России в научных разработках задействовано 15 коллекций грибов, размещенных в сводном каталоге непатогенных микроорганизмов, 12 из которых на протяжении многих лет участвовали в различных научных программах совместно с Всероссийской коллекцией микроорганизмов. В последнее время активно развивается база данных Генетического банка (GenBank), база данных по номенклатуре и таксономии грибов Index Fungorum и MycoBank, информационная система по штаммам микроорганизмов StrainInfo. На сегодняшний день в мире разработано и широко используется большое количество экспертных систем управления защиты растений [11]. Чаще всего за рубежом они обозначаются как системы поддержки правильных решений СППР-DSS (ProPLANTExpert, PLANT-Plus, Landbrugsinfo и др.) [12].

В современном научном мире деятельность по генетическим ресурсам растений невозможна без наличия компьютерных баз данных. Особенно важно иметь согласованную базу данных для координации на региональном и глобальном уровнях [13]. В качестве примера отрегулированной работы можно привести работу Всемирного информационного центра генетических ресурсов сельскохозяйственных растений – проект Genesys, активный с 2008 года. Цель проекта – сформировать результативную глобальную систему сохранения и использования генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства [14]. Портал проекта (<https://www.genesys-pgr.org>) объединяет следующие информационные ресурсы: SINGER – международная информационная сеть глобального сельскохозяйственного научного партнерства (CGIAR); EURISCO – веб-каталог, который содержит информацию о ex-situ коллекциях растений, хранящихся в Европе (<http://eurisco.escpgr.org>), GRIN – веб ресурс министерства сельского хозяйства США в области генетических ресурсов [14]. Благодаря этому пользователи могут получить обширную информацию о генетических ресурсах нескольких сотен стран и исследовательских организаций. Так, например, для анализа информации о какой-либо сельскохозяйственной культуре доступны такие данные, как страна происхождения, наиболее распространенные роды и виды, результаты различных исследований (скрининг), может быть представлено дерево разнообразия культур.

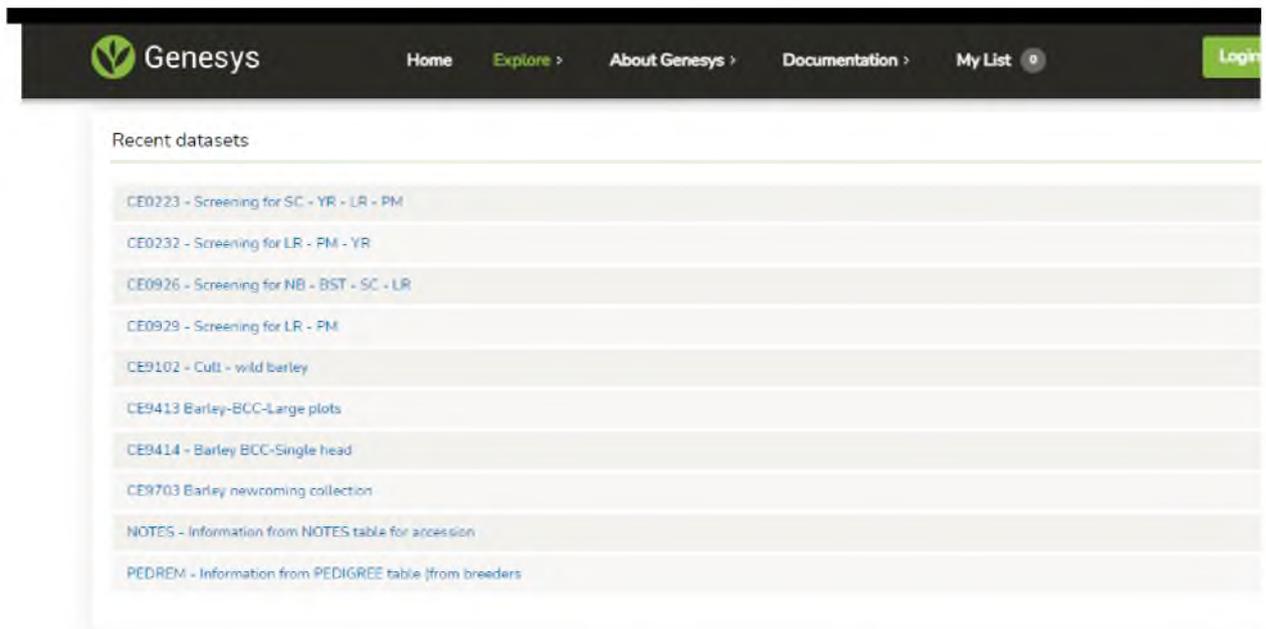


Рисунок 1 - Данные портала Genesys о проводимых скрининговых исследованиях на образцах различных видов ячменя [Barley (genesys-pgr.org)]

Итак, в перечень действий, совершаемых при компьютерной обработке данных фитопатологических исследований, входит этап создания электронной базы данных исследования, компьютерный анализ полученных данных с применением методов математической статистики и представление результатов исследования в численном и/или графическом виде. На начальных этапах обработки данных опыта в электронных таблицах пакетов прикладных программ, например Excel, SPSS, Statistica создается база данных в форме кодировочных таблиц, отражающих количественные связи между переменными опыта и отдельными факторами (год исследования, район обследования, географические особенности местности, выявленные болезни и т.п.). Например, за период с 1995 г. по настоящее время в электронных таблицах пакета прикладных программ SPSS создана оригинальная база данных, включающая измерения агронометрических, фитопатологических, фитоиммунологических характеристик более 1100 сортов и линий яровой мягкой пшеницы с учетом фотометрического и элементного статуса образцов [12]. Методики, используемые при анализе данных фитосанитарного агроценоза, в том числе компьютерные технологии, участвующие в формировании электронных каталогов и баз данных; методы статистического анализа и математического моделирования – незаменимые инструменты современных научных исследований. Одним из преимуществ использования описанных методик является их применимость в различных направлениях идентификации (вид фитопатологии, ее распространенность, степень поражения растения). Это поможет избежать ошибок в самом начале интерпретации результатов исследований. При наличии сформированной базы данных, включающей в себя ряд описательных характеристик, становится легче отслеживать процесс заражения растений, развития болезни, а также более точно определять результат эксперимента. В качестве примера стоит привести работу Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И.Вавилова (ВИР). В отделе генетических ресурсов овса, ржи и ячменя проводятся комплексные исследования с целью раскрытия потенциала наследственной изменчивости образцов коллекций для рационального использования их генетического, адаптивного и хозяйственного потенциалов в селекции, производстве продовольствия и ведении сельского хозяйства. Создаются базы данных, включающие в себя большое количество экспериментальных результатов: жирно-кислотный состав зерновки; уровень содержания моно-, дисахаров и общих сахаров; уровень содержания различных аминокислот. Анализ

этих данных может легко выявить наиболее перспективные генотипы, которые могут вовлекаться в селекционный процесс.

Кроме того, цифровизация биологических данных способствует сохранению информации, которая с течением времени имеет свойство утрачиваться. Так, например, создание электронных каталогов и баз данных позволяет найти и изучить растения, к которым нет непосредственного доступа в конкретный момент времени или они уже не будут существовать. Практическое значение данного преимущества может быть рассмотрено как на локальном, так и на глобальном уровне. Так, например, Ботанический сад Южного федерального университета за более чем 90 лет своего существования, превратился в центр сохранения биологического разнообразия растений. Современный коллекционный фонд представлен 17 тематическими коллекциями и экспозициями открытого и защищенного грунта. Одной из приоритетных задач сада является сохранение редких видов региональной флоры *ex situ*, то есть в составе коллекций и экспозиций. Этим целям служит, в первую очередь, коллекция редких и исчезающих видов растений Ростовской области. При формировании коллекции используются новые знания, информационные технологии и практический материал, полученные в процессе выполнения долгосрочных проектов по ведению Красной книги Ростовской области [15].

Чтобы подчеркнуть значимость цифровизации биологических данных, обратимся к исследованиям, посвященным изучению запасных белков семян. На их основе разрабатываются принципы и технологии биохимического маркирования растений для решения актуальных проблем прикладной ботаники, генетики и селекции. Белки семян как биохимические маркеры эффективны в изучении, систематизации и документации генофонда культурных растений и их диких родичей; при контроле генетической стабильности образцов; для обнаружения дублетов или генетически похожих образцов. Регистрация коллекционных образцов по спектрам белков способствует сохранению генетического разнообразия [12].

№ каталога ВИР, название, происхождение	Формула глиадина				Частота встречаемости, %
	α	β	γ	ω	
к-31235. Heines Kolben	$\underline{2} \ 4 \ 6_2 7_1$	$\underline{2} \ 3_1 4_2 5_2$	$\underline{2}_2 34$	$4_1 5_1 6_2 6_1 \ 8_1 9_1 10_2$	100
к-35754. Heines Kolben	«	«	«	«	«
к-43218. 362 B1 E4	$\underline{5} 6_1 7_1 \underline{7}_2$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_2$	$2_1 3 \ 5$	$4_1 5_1 6_1 6_2 7_1 8_1 9_2$	100
к-44691. 362 B1 E4	«	«	«	«	«
к-40161. Marquis » Svalof II 69	$\underline{5} 6_1 \underline{7}_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_2$	$2_1 34$	$4_1 4_2 \ 6_1 7_1 8_1 8_2 9_2$	100
к-41920. Marquis » Svalof II 69	«	«	«	«	«
к-49383. Иртышанка 7	$5 \ 7_2$	$\underline{2} 1_2 3_2 4_2 5_2$	$2_2 2_3 34$	$\underline{2} 3_2 4_2 5_1 6_2 \ 8_2 9_2$	100
к-52722. Иртышанка 7	«	«	«	«	«
к-45858. Грекум 114	$\underline{5} 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 4_2 5_2$	$2_1 34$	$3_2 4_2 5_1 6_1 7_2 8_2 9_2$	100
к-47886. Грекум 114	«	«	«	«	«
к-38414. Cadet	$\underline{2} \ 4 \ 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_2 4_2 5_2$	$2_1 34$	$2 \ 4_2 \ 6_2 7_1 8_1 8_2 9_2$	100
к-41356. Cadet	«	«	«	«	«
к-33980. No. 159	$\underline{5} 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_2$	$2_1 34$	$3_2 6_2 8_1 8_2 9_2$	90
к-37344. No. 159	$\underline{5} 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_2$	$2_1 34$	$3_2 4_2 \ 6_2 \ 8_1 8_2 9_2$	54
к-25871. Huron	$\underline{5} 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_2$	$2_1 34$	$3_2 4_2 \ 6_2 \ 8_1 \ 9_2$	46
к-29443. Huron	«	«	$2_1 3 \ 5$	$4_2 4_3 \ 6_1 8_1 9_1 10_2$	100
к-5936. Huron	$\underline{5} 6_1 7_1 \underline{7}_2$	$\underline{2} 3_2 4_2 5_2$	$2_1 34 5$	$2 34_2 \ 6_1 \ 8_2 9_2$	40
к-58941. Maya-Pavon	$\underline{5} 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_2 4_2 5_2$	$2_2 3 \ 5$	$2 \ 4_2 5_2 6_1 6_2 8_1 8_2 9_2$	40
к-59201. Pavon S	$5 \ 7_1 \underline{7}_2$	$\underline{2} 3_2 4_2 5_2$	$2_1 2_3 34$	$3 \ 6_2 \ 8_2 9_2$	20
к-54403. Pavon F 76	$\underline{2} \ 4 \underline{5} \ 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_1$	$\underline{2}_2 2_3 34$	$3_2 4_2 5_1 6_1 \ 8_2 9_1 10_1$	100
к-35284. Florence	«	«	«	«	100
к-34056. Quality	«	«	«	«	100
к-3704. Florence	$2 \ 4 \ 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_2 3_2 4_2 5_2$	$2_1 34$	$2 34_2 \ 6_2 7_1 8_1 9_1 10_2$	100
к-5026. Marquis	$2 \ 4 \ 6_1 7_1$	$\underline{2} 3_1 4_2 5_2$	$2_1 34$	$2 34_2 \ 6_2 6_3 \ 8_1 8_2 9_2$	100
к-29510. Marquis	«	«	«	«	100
к-29614. Marquis	«	«	«	«	90

Рисунок 2 - Белковые формулы спектров глиадина яровой мягкой пшеницы. (Идентификация сортов сельскохозяйственных культур по электрофоретическим спектрам запасных белков | Губарева | Аграрная Россия (folium.ru))

Заключение. В ходе анализа существующих публикаций установлено, что в настоящее время существуют следующие подходы к решению научных проблем:

- создание и наполнение электронных баз данных для использования в каждой стране, так и международного уровня. Приоритетным направлением является объединение научных достижений в единую базу в мировом масштабе;
- формирование поисковых систем с функцией искусственного интеллекта, обеспечивающих машинный анализ данных и их систематизацию;
- развитие компьютерных технологий и оцифровка результатов научной деятельности предопределило появление нового направления – бионформатики, которая позволяет моделировать и прогнозировать биологические процессы, что существенно ускоряет процесс научных исследований;
- бионформатика – наиболее востребована в генетических исследованиях, при секвенировании генома живых организмов.

Благодарности:

Работа выполнена по госзаданию 122011300103-0

Список литературы

1. Lyubimova A. V. Analysis of the genetic diversity of Russian common oat varieties using alleles of avenin-coding loci / A. V. Lyubimova, D. I. Eremin, I. G. Loskutov [et al.] // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference, Tyumen, 19–20 July 2021. – Tyumen: EDP Sciences, 2021. – P. 01015. – DOI 10.1051/bioconf/20213601015.
2. Любимова, А. В. Овёс в Тюменской области / А. В. Любимова, А. С. Иваненко. – Тюмень : НИИСХ СЗ - филиал ТюмНЦ СО РАН, 2021. – 172 с. – ISBN 978-5-4266-0203-8.
3. Eremina D. IT-technologies in soil Informatics and Russian agribusiness / D. Eremina // MATEC Web of Conferences, St. Petersburg, 20–22 декабря 2017 года. – St. Petersburg: EDP Sciences, 2018. – P. 04016. – DOI 10.1051/mateconf/201817004016.
4. Калиев М. Н. Big data в контексте сельского хозяйства / М. Н. Калиев, С. М. Каюгина // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: Сборник материалов LIV Студенческой научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Тюмень, 19–20 марта 2020 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. – С. 286-289.
5. Колчанов Н. А. Компьютерная системная биология и биоинформатика: задачи и методы / Н. А. Колчанов // Марчуковские научные чтения - 2019 : Тезисы Международной конференции, Новосибирск, 01–05 июля 2019 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2019. – С. 8-9.
6. Шваб К. Четвертая промышленная революция – Изд-во: Эксмо, 2016. – 137 с.
7. Исхакова, Д. Д. Цифровизация как инновационный инструмент повышения эффективности промышленных предприятий / Д. Д. Исхакова, А. Ю. Маляшова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2019. – № 10(128). – С. 16.
8. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия : Для руководителей и специалистов предприятий, преподавателей, аспирантов и студентов ВУЗов отрасли инфокоммуникаций / С. П. Воробьев, А. Е. Давыдов, В. В. Ефимов, В. И. Курносков. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Санкт-Петербург : Издательство «Наукоемкие технологии», 2019. – 739 с. – ISBN 978-5-6042710-9-4.
9. Гричанов И.Я. Современные информационные технологии фитосанитарного мониторинга // Базы данных и информационные технологии в диагностике, мониторинге и прогнозе важнейших сорных растений, вредителей и болезней растений: тезисы докладов международной конференции (Санкт-Петербург - Пушкин, 14-17 июня 2010). - СПб., 2010. - С. 10-11

10. Фролов А.Н. Научно-образовательные информационные ресурсы по защите растений в Рунете // Базы данных и информационные технологии в диагностике, мониторинге и прогнозе важнейших сорных растений, вредителей и болезней растений: тезисы докладов международной конференции (Санкт-Петербург - Пушкин, 14-17 июня 2010). - СПб., 2010. - С. 29-30
11. Озерская С.М. Грибы в коллекциях культур: фундаментальные и прикладные аспекты: Автореферат доктора биологических наук. - М., 2012. - 50 с
12. Колесников, Л. Е. Использование информационных технологий в анализе фитосанитарного состояния агроценозов / Л. Е. Колесников // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – С. 56-63
13. Алексанян, С.М. Агробиоразнообразие и геополитика / С.М. Алексанян. – СПб.: ВНИИР им. Н.И. Вавилова, 2002.– 362 с
14. Новикова, Л. Ю. Информационные системы генетических ресурсов винограда / Л. Ю. Новикова, Л. Г. Наумова, И. О. Рябчун // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2016. – № 40(4). – С. 1-13.
15. Каталог коллекции редких и исчезающих растений Ростовской области в Ботаническом саду Южного федерального университета / А. Н. Шмараева, Ж. Н. Шишлова, И. П. Кузьменко, А. В. Фирсова // Живые и биокосные системы. – 2018. – № 26. – С. 2.
16. Губарева, Н. К. Идентификация сортов сельскохозяйственных культур по электрофоретическим спектрам запасных белков / Н. К. Губарева, И. П. Гаврилюк, А. В. Конарев // Аграрная Россия. – 2015. – № 11. – С. 21-27.

