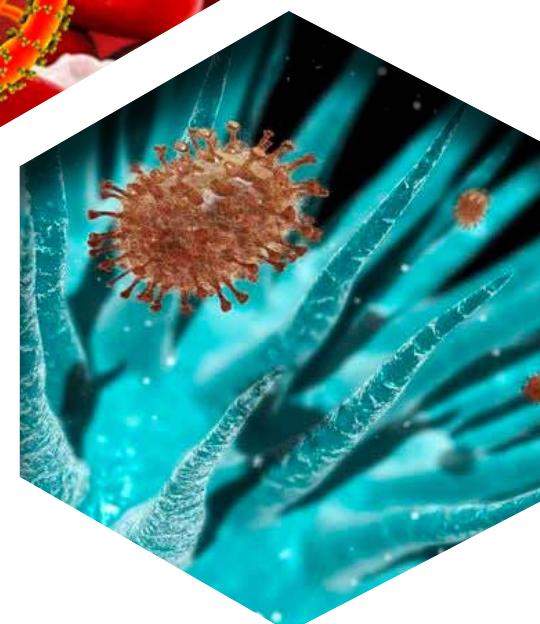
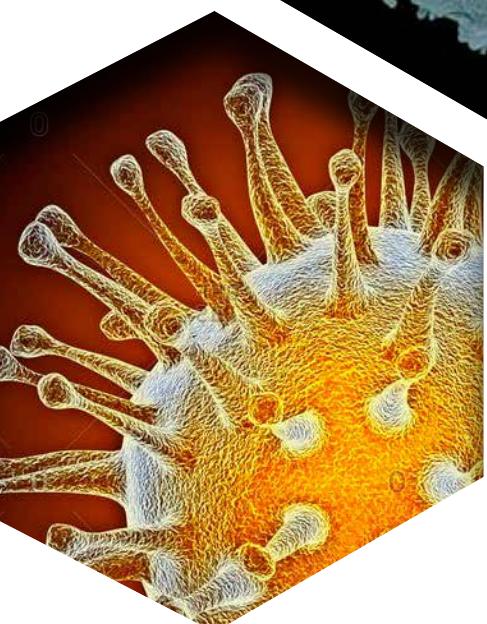
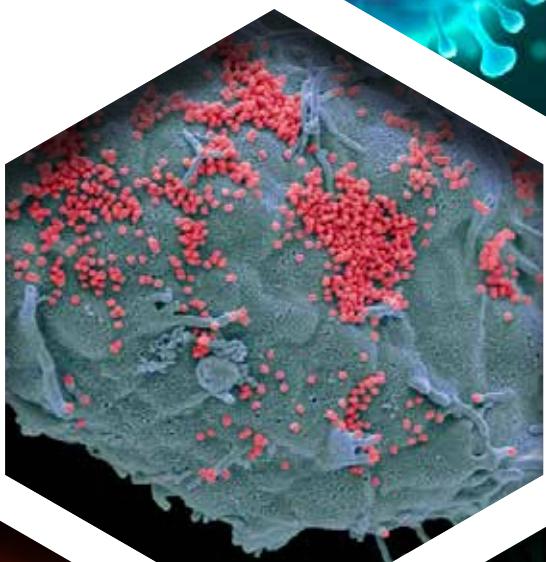


наука и инновации

№2 (240)
ФЕВРАЛЬ 2023

научно-практический журнал



ISSN 1818-9857



91771818985001 02

ISSN 2412-9372 (online)

НАУКА И ИННОВАЦИИ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ ИЗДАНИЕ
ПО ВСЕМ НАУЧНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ

Год основания 2003 г.

Учредитель – Национальная академия
наук Беларуси

20 лет выхода журнала это:

- 240 номеров
- 5 тыс. эксклюзивных авторских материалов
- 1000 журналистских работ
- 40 000 онлайн-визитов в год
- 25 тыс. уникальных посетителей



- ➔ работаем на престиж науки и образования в Беларуси
- ➔ налаживаем информационный обмен
между учеными и общественностью
- ➔ популяризуем достижения
отечественной науки, техники и технологий
- ➔ формируем инновационное пространство и общество знаний

В каждом выпуске важнейшие события отечественной науки,
государственной научной и научно-технической политики

Практические результаты внедрения достижений науки

Вопросы инновационного развития, менеджмента и трансфера технологий

Состояние цифровой трансформации различных отраслей экономики

Концептуальные и практические подходы к подготовке кадров высшей
квалификации



ПОДПИСНЫЕ
ИНДЕКСЫ:
00753
007532



220072, г. Минск,
ул. Академическая, 1-129

📞 (+375 17) 351-14-46
факс: (+375 17) 379-16-12

✉ nii2003@mail.ru
innosfera.belnauka.by

🌐 www.innosfera.by

📷 @science_innovations



Содержание

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ИМПЕРАТИВЫ

Владимир Гусаков

Модель социально-экономического развития Беларуси – социальная направленность, научное обоснование

4

В материале рассмотрена действующая в Беларуси модель социально-экономического развития, доказавшая свою эффективность.

БЕЛАРУСЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ

Юлия Василишина

Выставка, ставшая событием

9

В обзоре представлен ряд разработок – экспонатов масштабной выставки научно-технических достижений «Беларусь интеллектуальная».

ТЕМА НОМЕРА: ВИРУСНЫЕ УГРОЗЫ НАШЕГО ВРЕМЕНИ

Андрей Гончаров

Современная вирусология и биологические угрозы инфекционного характера

16

Рассмотрены основные угрозы инфекционного характера на современном этапе, дана их общая характеристика, представлены пути противодействия вирусным инфекциям. Раскрыт мультидисциплинарный характер исследований в современной вирусологии.

Анатолий Зинченко, Маргарита Винтер, Илья Казловский

Интерфероны и их индукторы как элементы борьбы с COVID-19

24

В статье анализируются свойства различных типов интерферонов, в том числе недавно открытых, рассматриваются возможности их использования в терапии коронавируса, причины ограничений для некоторых пациентов, а также перспективы разработки учеными универсального противовирусного средства.

Анна Черных, Андрей Гончаров

Вирусы семейства *Filoviridae*

30

Рассмотрены представители семейства *Filoviridae*, являющиеся возбудителями смертельной для человека геморрагической лихорадки. Дан анализ существующим иммунобиологическим лекарственным средствам для лечения и медицинской профилактики болезней, вызываемых филовирусами.

Дарья Бобрукевич, Андрей Гончаров, Наталья Антоневич, Василий Богдан

Натуральная оспа и оспа обезьян: характеристика вирусо-возбудителей и меры противодействия

38

Рассмотрена одна из наиболее опасных и актуальных биологических угроз – поксвирусы, возбудители натуральной оспы и оспы обезьян. Изложены общая характеристика, исторические аспекты заболеваний, вызываемых поксвирусами, вакцинопрофилактика и возможности специфического лечения.

Зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь, свидетельство о регистрации №388 от 18.05.2009 г.

Учредитель:

Национальная академия наук Беларуси

Редакционный совет:

В.Г. Гусаков – председатель совета
П.А. Витязь – зам. председателя
С.А. Чижик – зам. председателя
Ж.В. Комарова
В.Ф. Байнев
А.И. Белоус
В.Г. Богдан
С.В. Гапоненко
В.Л. Гурский

А.Е. Дайнеко
А.И. Иванец
Н.С. Казак
А.В. Кильчевский
Э.И. Коломиец
С.А. Красный
М.В. Мясникович
О.Г. Пенязьков
Ф.П. Привалов
С.П. Рубникович
О.О. Руммо
С.В. Харитончик
И.П. Шейко
А.Г. Шумилин

Главный редактор:

Жанна Комарова

Ведущие рубрики:

Ирина Емельянович
Наталья Минакова

Татьяна Жданович
Юлия Василишина

Дизайн и верстка:

Алексей Петров
На обложке коллаж Алексея Петрова

Адрес редакции:

220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129.
Тел.: (017) 351-14-46,
e-mail: nii2003@mail.ru,
www.innosfera.belauka.by

Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)
00 753 (индивидуальная)
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,8.
Тираж 532 экз. Цена договорная.
Подписано в печать 14.02.2023.

Издатель и полиграфическое исполнение:

РУП «Издательский дом «Беларуская наўка».
Свид. о гос. рег. №1/18 от 02.08.2013.
ЛП №02330/455 от 30.12.2013.
г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40. Заказ №28.

© «Наука и инновации»

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал обязательна.
За содержание рекламных объявлений редакция ответственности не несет.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей.
Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

Лариса Тригубович

Особенности и закономерности формирования спроса на инновации 43

Исследованы механизм формирования спроса на инновации и специфика его проявления с учетом различий в мотивации потребительского поведения и особенностей использования инновационных продуктов.

Наталья Мацукевич, Валентина Коврей

Государственно-частное партнерство в управлении инвестиционной активностью региона 49

Изучен механизм управления инвестиционной активностью региона, особенности и преимущества государственно-частного партнерства как одного из инструментов управления.

ЦИФРОВАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Сергей Абламейко, Михаил Журавков

Технологии искусственного интеллекта: текущее состояние и направления развития 56

Рассмотрены общие вопросы развития искусственного интеллекта, технологии компьютерного зрения и моделирования. Показаны достигнутые результаты, предлагаются дальнейшие шаги по развитию искусственного интеллекта в Республике Беларусь.

Наталья Денисова, Елена Мартищенко

Цифровые компетенции в профессиональной деятельности исследователей НАН Беларусь 62

В статье приведены результаты опроса исследователей НАН Беларусь, направленного на выявление уровня их цифровых компетенций, необходимых для качественной цифровой трансформации науки.

ЛАБОРАТОРИЯ НАДЕЖД

Татьяна Жданович

Большая теория локального взрыва 69

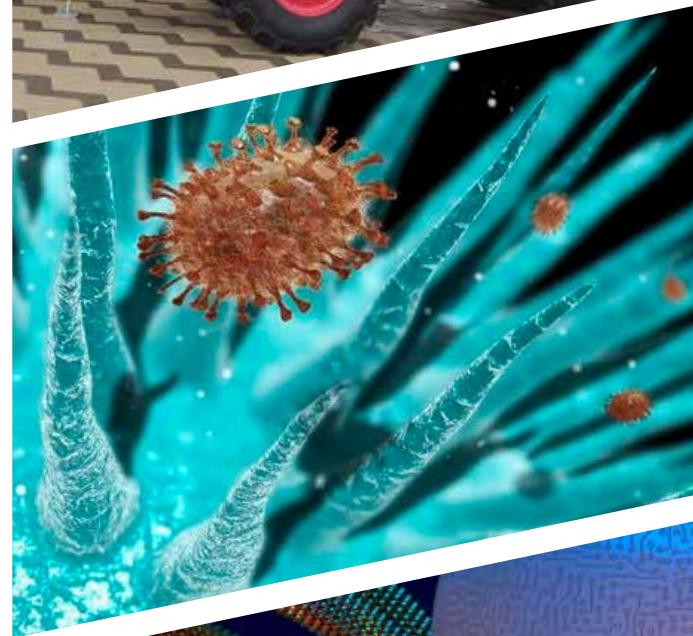
Автор рассказывает об исследователе Владиславе Семашко – лауреате премии им. академика Ж.И. Алферова для молодых ученых НАН Беларусь, достигшем весомых научных результатов в области физики взрыва.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Александр Федулов, Григорий Карапетян, Иван Косик, Алексей Борисов, Ксения Благочинная, Наталья Волкова

Технологии искусственного интеллекта в мониторинге патоморфологических изменений центральной нервной системы при рассеянном склерозе 75

Представлен один из вариантов автоматизации процедур оценки получаемых при использовании магниторезонансной томографии изображений головного мозга пациентов, страдающих одним из самых тяжелых заболеваний центральной нервной системы – рассеянным склерозом.





Владимир Гусаков,
Председатель Президиума
Национальной академии наук
Беларусь, академик

Успешно завершился 2022 год. В стране достигнуты критерии, индикаторы и показатели согласно прогнозу социально-экономического развития, целям и задачам Правительства. Страна уверенно продвигается вперед по всем направлениям. И это несмотря на массированные санкции и недружественность западных стран. К этому всему пришлось преодолевать и непростую ситуацию с масштабным влиянием коронавирусной пандемии.

Надо однозначно признать, что успехи стали возможны благодаря правильно выбранной стратегии и тактике руководства страны, и в первую очередь – принятой модели социально-экономического развития, показавшей свою гибкость и мобильность с одной стороны и прочность и устойчивость – с другой.

Что же собой представляет белорусская социально-экономическая модель устойчивого развития? Вопрос не риторический. Зарубежные так называемые эксперты не единожды предсказывали и падение, и рецессию, и даже разорение страны, а она показывает все более масштабную результативность. Действующая в Беларусь модель социально-экономического развития доказала свою эффективность временем.

Любая страновая или региональная модель социально-экономического развития пред-



Модель социально-экономического развития Беларуси – социальная направленность, научное обоснование

ставляет собой совокупность базовых принципов, целей, элементов и требований, предъявляемых к системе тех социальных институтов, которые формируют целостность национального хозяйства, а также механизм, обеспечивающий их функционирование и взаимодействие.

Обычно такое понятие, как национальная экономическая модель конкретной страны, используется в случае, если ее социально-экономическое положение в течение достаточно длительного периода – не менее 10 лет – демонстрирует относительную стабильность ключевых параметров, заложенных в основу модели, и обеспечивает динамичный рост национального благосостояния, прогрессивные структурные преобразования в экономике. Наибольший интерес к национальным моделям экономики возникает именно тогда, когда в стране происходит глубо-

кое реформирование стратегии и механизмов экономического развития и, естественно, возникает проблема выбора наиболее достижимого и привлекательного образца для подражания.

Более 30 лет назад с политической карты мира исчез Советский Союз. Это стало настоящим шоком для многих народов и обществ, которые оказались перед неопределенностью и остались без стратегических ориентиров. Мир заполнила так называемая либеральная идея. Но ничего, кроме дестабилизации и разрушения национальных экономических и политических систем, она не принесла. Не оправдал надежд и тезис о «невидимой руке рынка», которая, дескать, автоматически регулирует производство и продажи. Сейчас стало уже совершенно очевидно, что рынок без государственных регуляторов – стихия, где побеждают сильнейшие, и зачастую – вразрез с интересами всего общества.

Социально-экономическая модель любого государства формируется в конкретных социальных, экономических, исторических и geopolитических условиях каждой страны и предназначена интегрировать общество как единое целое. Каждое общество имеет свою систему ценностей и формирует адекватную систему отношений. Поэтому страны стремятся сформировать свою собственную модель развития экономики. Но не у всех это получается. Зачастую более сильные государства навязывают свою модель экономики и систему ценностей более слабым.

Выдаваемая западными пропагандистами за панацею так называемая либеральная идея предназначалась прежде всего постсоалистическим и постсоветским странам для тотального преобразования так называемых переходных экономик и создания

частнособственнического уклада под диктовку западных экспертов и олигархии. На самом деле Западу надо было просто расчистить поле для массированных поставок своей продукции и для создания преимуществ предпринимателям. И они, конечно, не упустили возможность быстро воспользоваться этим историческим шансом. В странах Центральной Европы это еще как-то удалось с меньшими потерями. Однако в государствах Восточной Европы (за исключением Беларуси) и в некоторых странах Центральной Азии реализация либеральной идеи почти полностью уничтожила общественный уклад и сделала их totally зависимыми.

В Беларуси начался процесс поиска и формирования собственного пути. Тогда, в условиях разрушения советской модели, бытоваха иллюзия множества сценариев, рассматривались польский, немецкий, американский, шведский, российский, даже японский. На самом деле выбор был прост: развитие – с опорой на собственные силы и разум или деградация – в надежде на чужую помощь и советы. Белорусский национальный менталитет не позволил идти по пути разрушительных реформ, народ не захотел разрушать созданное. Белорусская экономика стала развиваться своим путем, и это, как оказалось в последующем, было единственным правильным решением. Было признано, что белорусская экономическая модель не может быть скопирована ни с немецкой, ни со шведской. Белорусы не немцы и не шведы, не китайцы и не поляки. У нас другие ценности и традиции, а соответственно, и модели поведения.

После нескольких начальных и безуспешных лет разрушения экономики по западным лекалам

в белорусском обществе произошло осознание основной стратегии формирования модели развития государства и экономики, которая состоит не только в том, чтобы понять законы общественного производства и распределения, выявить новые закономерности интеграции в глобальную экономику, но на этой основе выработать целесообразные практические решения для соответствующих позитивных изменений в политике, общественном сознании, организации экономики.

Известно, что исследование экономических процессов не может быть полным без изучения социальных и политических аспектов, теоретических проблем развития культуры, философско-мировоззренческих тенденций социального прогресса, истории формирования белорусской нации, становления и укрепления белорусской государственности.

Было широко признано, что управляемость и сбалансированность хозяйственной жизни должны в полной мере отвечать менталитету белорусского народа. Здесь есть целый ряд особенностей. Так, все признают, что белорусы терпеливы, выносливы, не агрессивны, в меру самокритичны и никогда не ставят себя выше других народов, признавая их достоинства. Они во всем ищут мирные пути решения проблем.

Также социологи отмечают, что белорусы толерантны и дружелюбны, склонны к сотрудничеству. Отсюда стремление к интеграции, равноправию во внешнеэкономической деятельности, открытости экономики. Любят порядок, надежность и предсказуемость, отсюда – стройная система государственного регулирования, последователь-

ность во внешних отношениях. Стремятся рассчитывать на свое, не жить взаймы, надеются на себя, а не на заграничных благодетелей, отсюда – развитие собственного производства и нацеленность на импортозамещение. К этому можно добавить, что белорусы не избалованы богатством природных ресурсов, понимают, что все достается трудом, отсюда – ориентация на трудовой доход, а не на природную ренту.

Характерно и то, что белорусы ценят жизнь и здоровье, дом и семью. Поэтому социальная направленность экономической политики имеет первоочередной приоритет, иногда даже в ущерб рыночной эффективности.

Более чем тридцатилетний опыт трансформационного развития Беларуси показывает, что без сильного стабилизирующего государственного сектора вряд ли можно рассчитывать на долгосрочную устойчивость экономики.

Еще недалеко ушли те годы рыночных реформ, когда у нас в Беларуси происходили примерно те же процессы, что и в других постсоветских государствах: отказ от крупного общественного производства, насаждение частных порядков, потеря квалифицированных кадров и стремительное падение качества жизни. Например, только спад промышленного производства в 1991–1995 гг. составил почти 40%. Основными причинами стали резкое сокращение госзаказа на продукцию, разрушение сложившихся хозяйственных связей, сокращение торговли. Еще большие потери понесли научноемкие отрасли промышленности. А результат – предприятия не работают, общественный транспорт

разбит, социальная сфера свернута, трудовые коллективы по несколько месяцев без зарплаты, полки магазинов пусты.

В это время масса зарубежных советников насаждают свои советы по ликвидации крупнотоварного производства, расчленению и приватизации госсектора. В программы учебных заведений внедрены либеральные теории ухода государства из экономики, тотальной приватизации собственности и решения социально-экономических проблем в основном за счет населения.

Перелом наступил, когда был избран первый Президент страны А.Г. Лукашенко. Вскоре после этого Александр Григорьевич дал четкую формулировку основных критериев белорусской модели развития. Ее базисными компонентами стали следующие.

Построение сильной эффективной государственной власти. Такая власть рассматривается как гарант недопущения олигархического беспредела, разграбления народных богатств и прорыва криминала к рычагам системы управления. Сильная государственная власть – это залог политической стабильности, социальной справедливости и экономической эффективности, а также гарант национальной безопасности и суверенитета.

Обеспечение равноправия и эффективного функционирования всех форм собственности, всех форм хозяйствования. При этом главным приоритетом для предприятий всех форм собственности должны быть национальные интересы. Ставка на приоритетное развитие реальной экономики и крупнотоварное производство.

Необходимость сохранения государственной собственности

на стратегически важных объектах, государственная поддержка приоритетных производств.

Многовекторность внешнеэкономической политики. В условиях глобализации экономика не может успешно развиваться без ее выхода на мировые рынки. Это предполагает развертывание широких интеграционных процессов со странами СНГ, прежде всего с Россией. Беларусь не постутиится чем-либо в области своего суверенитета и независимости.

Проведение сильной социальной политики, которая является приоритетом белорусской модели развития. Только социально ориентированная экономика может пониматься как эффективная. При этом подразумевается приоритетное инвестирование в сферу образования, здравоохранения, науки, культуры, а также оказание адресной помощи экономически уязвимым слоям населения. Главная цель – повышение качества жизни населения на основе роста конкурентоспособности экономики, привлечения инвестиций и инновационного развития.

В результате огромных усилий нам удалось сначала приостановить деградацию и сползание страны в пропасть, а затем в исторически короткие сроки повернуть ее развитие в созидательное русло. Было остановлено разрушение крупнотоварного уклада, реабилитирован государственный сектор, прекращена ликвидация интегрированных агропромышленных предприятий. И самое главное – была спасена государственная управленческая вертикаль как базис стабильного развития страны.

В связи с этим белорусская модель получила статус соци-

ально ориентированной многоукладной рыночной экономики. Приоритетное значение в ее рамках придается развитию научноемких и инновационных производств с одновременным обеспечением принципов социальной справедливости.

Белорусский народ в своей истории пережил много разрушений и потерь, поэтому ценит мир, порядок и спокойствие. Эти и другие черты белорусского народа, такие как патриотизм, ответственность, обязательность, исполнительность, изобретательность обеспечивают особое мировоззрение и, следовательно, формирование адекватной модели социально-экономического развития.

В результате последовательного формирования и реализации белорусской социально ориентированной экономической модели были решены следующие стратегические задачи:

- восстановление и модернизация крупных предприятий государственного сектора; создание условий для многоукладности в разных сферах экономики;
- обеспечение продовольственной безопасности страны;
- устойчивое развитие производственного потенциала предприятий посредством системы госзаказов и субсидий;
- наращивание экспортного потенциала, развитие импортозамещающих производств;
- формирование новых высокотехнологичных отраслей и производств.

Государство отказалось от «шоковой» терапии, выбрав путь эволюционного развития исходя из своих национальных интересов. Уже в 2000 г.

был восстановлен утраченный за первые годы реформ уровень промышленного производства 1990 г., а в 2005 г. этот уровень превышен на 52,8%.

Сегодня Беларусь – промышленно развитая страна, которая, несмотря на ограниченность собственных топливно-энергетических ресурсов и важнейших видов сырья, смогла существенно нарастить свой производственный потенциал. В мировом рейтинге по индексу конкурентоспособности промышленности Беларусь находится сейчас на 47-й позиции из 152 стран мира. Входит в число лидеров среди мировых производителей грузовых автомобилей, тракторов, дорожно-строительной и коммунальной техники.

Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. предусматривает ускоренное развитие высокотехнологичных производств в фармацевтике, оптике и электронике, и в первую очередь таких, как электронные компоненты, оптико-электронные системы и системы безопасности. Прорывными точками роста промышленности являются атомная энергетика, биоиндустрия и фармацевтика, робототехника и приборостроение, электроиндустрия и электротранспорт, производство композитных материалов.

Белорусская социально-экономическая модель развивается преимущественно на базе реального сектора экономики, в основе которого – крупные предприятия и производства. И это справедливо. Только крупномасштабный реальный сектор может создавать необходимую устойчивость функционирования государства. Поскольку он

государствообразующий, фундаментальный, конкурентоспособный и долгосрочный. Крупные предприятия, а тем более их объединения позволяют выдержать любую конкуренцию и оставаться на плаву при различной рыночной конъюнктуре, поскольку они насыщены ресурсами для устойчивого развития.

Именно поэтому в мире сейчас доминируют и формируют политику глобальной мировой торговли крупные и крупнейшие товаропроизводители и их сети, включая национальные и транснациональные компании.

Малые и средние предприятия вряд ли могут сегодня конкурировать на равных с крупными. Конечно, исключения есть. Существует так называемое малотоннажное или малообъемное производство в фармацевтике, биоиндустрии, сфере услуг. Но это не всеобщая закономерность, а лишь частные случаи, и только до тех пор, пока ими не интересуются крупные товаропроизводители и сети.

Белорусская социально-экономическая модель допускает различные формы. Известна мобильность и гибкость малого и среднего бизнеса, однако многие такие предприятия не имеют длительного жизненного цикла. Поэтому их следует рассматривать как дополнение или продолжение крупнотоварных производств – национальных брендов.

Белорусская экономическая модель не исключает никаких разумных решений, она имманентно направлена на оптимизацию и сбалансированность. Цель – создание условий для устойчивого инновационного развития экономики. Да, рынок – это объективная реальность. Но он должен работать на интересы страны.

Рынок – не самоцель, а средство. Он должен регулироваться, а не превращаться в стихию. Ведь стихия в экономике приводит к разбалансировке и развалу.

Белорусская социально-экономическая модель имеет научную основу и выстраивается на теоретико-методологических наработках белорусских ученых.

Благодаря тому, что Республика сохранила свою научно-инновационную инфраструктуру, и в первую очередь – Национальную академию наук, сегодня есть возможность опираться на собственную, независимую, научно обоснованную аргументацию по всему спектру проблем.

Благодаря своей социально-экономической модели наша страна добилась колоссальных успехов на всех направлениях. Сейчас она равная среди равных в мировом сообществе. Нам есть чем гордиться. Беларусь стала развитой и признанной в исторически кратчайшие сроки. Но надо сделать все, чтобы эта динамика стала нормой жизни.

Наш основной принцип – планомерно совершенствовать и развивать то, чем располагаем. Как отметил Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко в Послании белорусскому народу и Национальному собранию в 2022 г. – «в условиях глобальной неопределенности белорусская стратегия развития может быть только одна: идти своим путем, жить собственным умом, строить будущее на прочном фундаменте народного единства». ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Глазьев С.Ю. Доклад о глубинных причинах нарастающего хаоса и мерах по преодолению экономического кризиса // <https://www.eijournal.ru/jour/article/view/803/280>.



ВЫСТАВКА, СТАВШАЯ СОБЫТИЕМ

Более 400 разработок, внимание Главы государства – выставка была организована по поручению Президента, и он первым ознакомился с экспозицией, – интерес тысяч посетителей, работа на крупнейшей в стране площадке – комплексе «Белэкспо», десятки репортажей в ведущих СМИ... Масштабная выставка научно-технических достижений «Беларусь интеллектуальная», прошедшая в Минске 20–29 января, стала поистине ярким событием начала 2023 года. Белорусские электромобили, беспилотники и ноутбуки, микроэлектроника и лазерная техника, системы искусственного интеллекта, разработки для космоса, фармпрепараты, новые сорта растений – многое из представленного уже сейчас востребовано и приносит пользу. По словам Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси Владимира Гусакова, наука никогда не была убыточной: окупаемость разработок начинается с 5–10 долларов и достигает 100 долларов на рубль затрат. По следам выставки, где были представлены лучшие результаты академической, вузовской и отраслевой науки, знакомим вас с некоторыми из экспонатов.

Перед входом в выставочный павильон «Белэкспо» посетителей встречал беспилотный трактор BELARUS A35231 мощностью 350 л.с. – новое слово в создании отечественной сельскохозяйственной техники, детище ОАО «МТЗ» и Объединенного института машиностроения НАН Беларуси. В нем применена электронная система автономного управления, созданная специалистами ОИМ. Безопасность движения помогает обеспечивать система машинного зрения: трактор оснащен

лидаром, двумя радарами, стереовидеокамерами высокого разрешения, также он может работать совместно с навигационной системой точного земледелия. Соответственно, способен самостоятельно ориентироваться в пространстве, обходить препятствия и т.д. Он оснащен передним и задним навесными устройствами высокой грузоподъемности и может в автономном режиме выполнять сельскохозяйственные операции, для чего оператором составляется и посылается

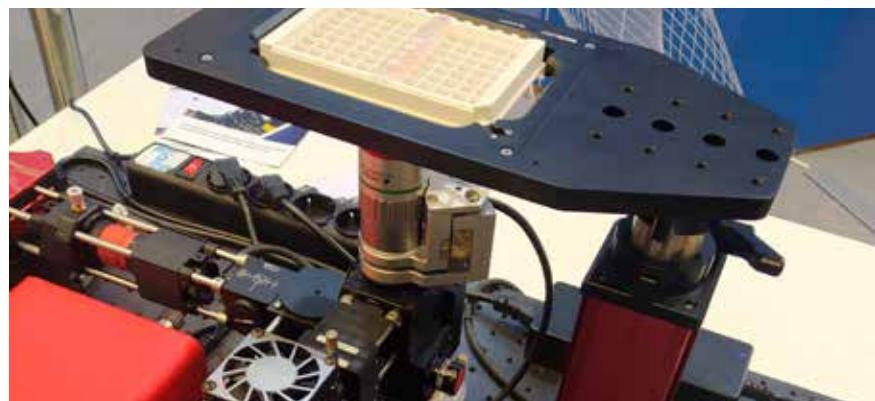
в систему управления машиной специальная программа. Испытания трактора с плугом, косилкой, культиватором уже проводились в одном из хозяйств Минской области. На выставке демонстрировался и маленький, мощностью 12 л.с., вариант трактора-беспилотника – BELARUS 112, у которого предусмотрены как дистанционный, так и ручной режимы управления. Он предназначен для малых фермерских хозяйств и аварийно-спасательных работ.

На этом тема беспилотной техники для сельского хозяйства не была исчерпана: Китайско-Белорусское ЗАО «Авиационные технологии и комплексы» представило летательный аппарат «Агродрон A60-X» для внесения средств защиты растений

по технологии ультрамалообъемного опрыскивания: за час он способен обработать до 10 га. Среди его преимуществ – возможность работы в ночное время, на сильно увлажненных землях, в труднодоступных местах, отсутствие механического повреждения почвы и растений. По расчетам создателей, применение «Агродрона» при обработке растений уменьшает расход удобрений и увеличивает урожайность на 7–25%.

Огромный интерес у посетителей выставки вызвали электромобили: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси представил сразу три экспериментальных образца, возле которых порой образовывалась очередь из желающих сфотографироваться. Если ярко-зеленый

каркасно-панельный электропикап ACADEMIC ELECTRO, на котором специалисты отрабатывают технологии проектирования легковых электромобилей, ранее уже демонстрировался, то электрогрузовик CITY E-TRUCK – абсолютная новинка. Это электромобиль многофункционального назначения с кузовом каркасно-панельной конструкции, грузоподъемностью около тонны, максимальной скоростью движения 110 км/ч и автономным пробегом до 200 км. Его кабина, кузов, электродвигатель, аккумуляторы, система и алгоритмы управления созданы специалистами ОИМ. Одно из основных применений новинки – коммерческие городские перевозки. Ну а самым эффектным экспонатом выставки стал спорткар

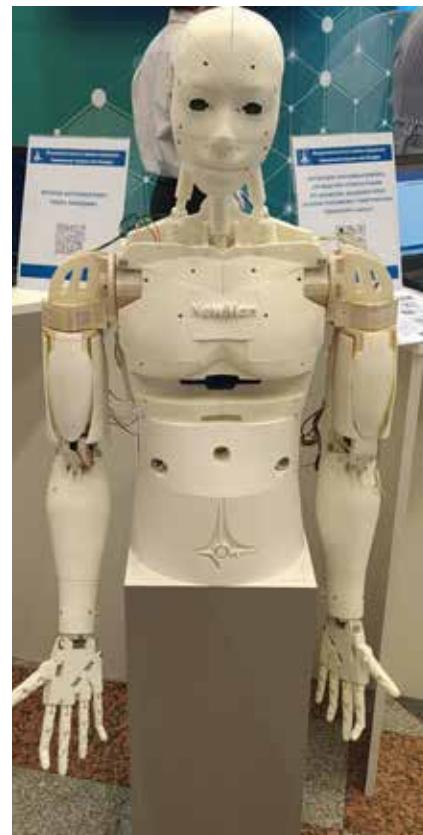


ELECTRO ROADSTER: «Это образец, на котором мы отрабатываем критические режимы: динамику заряда/разряда, пиковые нагрузки на систему управления, скоростные режимы. И здесь, и в электрогрузовике применены новые двигатели мощностью 80 кВт, соответственно под них и инверторы, все нашей разработки. Инверторы изготавливаются новополоцким «Измерителем», электродвигатели – могилевским заводом «Электродвигатель» по нашим разработкам и конструкторской документации», – рассказал заведующий сектором испытаний ОИМ Максим Гарный. Основные усилия при работе с электромобилями сейчас сконцентрированы на отработке технологий, оптимизации работы компонентов элек-

тропривода, проведении испытаний и сертификации машин. Параллельно этой тематике ученые НПЦ НАН Беларусь по материаловедению разработали натрий-графеновый накопитель энергии для электротранспорта. «Везде используются литий-ионные батареи, а литий – редкий металл, которого в нашей стране нет. Натриевой соли же в Беларусь хватает. Чтобы не зависеть от других, мы и созаем этот элемент. У нас есть два типа накопителей энергии: суперконденсатор, который быстро собирает энергию и быстро отдает, и батарея, рассчитанная на более долгую зарядку и такую же отдачу. Полученный прототип – на выставке он установлен на электросамокате – показы-

вает, что она не хуже, чем литиевая, и потенциал у разработки есть. Начали работу с небольшой батареек, в перспективе будем увеличивать ее размер и емкость», – пояснил Олег Игнатенко, заместитель генерального директора по научной и инновационной работе НПЦ НАН Беларусь по материаловедению. Есть надежда, что новый тип батареек со временем сможет заменить литиевые варианты в электромобилях.

Широко на выставке «Беларусь интеллектуальная» были представлены разработки в области оптики и лазерной техники, что в целом традиционно для отечественных научно-технических экспозиций, ведь это направление является одной из визитных карточек белорусской науки.



Так, ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси и входящий в это объединение Центр геофизического мониторинга НАН представили автономную систему постоянного энергообеспечения программно-аппаратного комплекса для регистрации сейсмических событий – такая недавно была отправлена вместе с Белорусской антарктической экспедицией на ледяной континент. Автономность работы здесь достигнута благодаря наличию в конструкции современных гетероструктурных солнечных панелей, графеновых аккумуляторов и блока автоматики, что позволяет системе работать в непрерывном режиме. «Автономность крайне важна, ведь установка комплекса производится в тихих местах, без инфраструктуры, электросетей, – пояснил руково-

дитель Центра геофизического мониторинга Геннадий Аронов. – Мы единственная организация на территории Беларуси, отслеживающая сейсмические события, как естественные, так и техногенные, по всему земному шару. Например, ядерный взрыв в Северной Корее в 2016 г. зарегистрировала сеть из 8 станций, находящихся вокруг БелАЭС. Был нами зарегистрирован и недавний взрыв на газопроводе в Балтийском море с точным временем, координатами и магнитудой в очаге. Также 8 подобных станций установлены вокруг Солигорского горно-промышленного региона, чтобы отслеживать местные события, связанные с добычей, и 2 – на стационарных обсерваториях в Плещеницах и на Нарочи. А недавно налажена связь с нашим комплексом в Антарктиде, и мы начали пакетно полу-

чать информацию, процесс обработки которой очень сложный. Цель работы – оценка стабильности среды, регистрация льдотрясений. Миф о том, что Антарктида несейсмична, можно забыть: уже по первым данным мы зарегистрировали сейсмическое событие».

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, входящий в состав ГНПО, продемонстрировал на выставке линейку твердотельных импульсных лазеров с диодной накачкой: в зависимости от энергетических характеристик лазерного излучения разработанные системы могут использоваться в дальномерических комплексах, приборах целеуказания, научном исследовательском и медицинском оборудовании, системах зондирования атмосферы, которые, например, в настоящее



время работают в Антарктиде. «Также здесь представлена еще одна разработка Института физики НАН Беларусь – лазерно-спектральный анализатор элементного состава низколегированных сталей и сплавов, в основе которого лежит один из разработанных нами лазеров. Принцип работы прибора следующий: на предметный столик закладывается образец, производятся 50 измерений, и по результатам сканирования мы определяем и содержание элементов, и вид стали. Потребность в таких измерениях высокая», – поделился Денис Шабров, заведующий отделом научно-технической информации и патентоведения Института физики. Он обратил внимание и на следующую новинку – экспрессный автоматизированный лазерный анализатор вирусов. Идея созда-

ния такого прибора появилась в 2020 г., когда возникла потребность в быстрой диагностике респираторных вирусных заболеваний. Метод анализа с помощью лазерного излучения позволяет исследовать биоматериал 50 человек с длительностью до 15 минут. Механизм анализа вирусов находится в стадии отработки. Еще одна разработка Института – программно-аппаратный комплекс криминалистического назначения, в основе которого лежит бинокулярное зрение. По двум снимкам – они делаются за секунды – с малой долей абсолютной погрешности (порядка 1–2%) определяются расстояния между нужными точками. Прибор можно использовать, например, не только на месте происшествий, но и в геодезии, при строительных и архитектурных работах.

Для криминалистики предназначена и представлена ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» система лазерно-оптического сканирования для баллистической идентификации, помогающая с высокой точностью выяснить, из какого именно оружия была выпущена пуля, для чего создается ее трехмерная модель. А вот аппаратно-программный стенд для гиперспектральных исследований имеет «мирную» специализацию – при помощи оптического метода экспресс-диагностики он помогает анализировать качество продуктов питания и предназначен для сферы сельского хозяйства. Благодаря ему можно проводить быструю оценку качества кормов, молока, овощей, готовой продукции, для чего необходима обширная база данных, наработка которой сейчас идет.



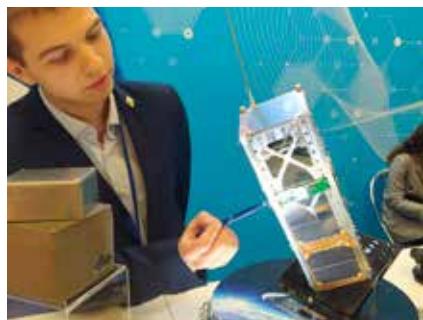
Также Институт физики продемонстрировал на стенде, посвященном медицине и фармакологии, линейку терапевтических приборов: аппарат для генерации воздушно-плазменной струи «АЛОЭ», предназначенный для лечения и обеззараживания ран, дерматологических заболеваний, ожогов, ускоряющий процесс заживления в 2–3 раза, а также использующийся для стерилизации любых, даже термо-чувствительных, поверхностей; уже известный лазерный аппарат «Родник-ИФ» для терапии широкого круга заболеваний и новинку – «Прометей-ИФ» для применения в комплексной терапии артритов, остеохондроза, переломов, лечения заболеваний верхних и нижних дыхательных путей и т.д.

Что касается разработок в сфере здравоохранения, то особое внимание было приковано к противоопухолевой

ДНК-вакцине «Еленаген», представленной РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова. Этот препарат на основе кольцевой плазмида ДНК снимает хроническое воспаление, помогает лучшей переносимости химиотерапии, обучает иммунитет противостоять определенному опухолевому белку и снижает риск прогрессирования заболевания. Вакцину получили уже 160 пациентов – с раком молочной железы, яичников, желудка, поджелудочной, простаты. Хотя онкологи очень осторожны в выводах, для рака молочной железы и яичников результаты оценены как хорошие. Исследование продолжается.

На выставке была представлена и вузовская наука. Так, БГУ ознакомил со своим новым наноспутником – сверхмалым орбитальным космическим аппаратом BSUSat-2, который планируется запустить в пер-

вом полугодии 2023 г. Первый спутник BSUSat-1 был отправлен в космос в 2018 г., и, хотя его срок эксплуатации вышел, он до сих пор работает орбите. Второй аппарат сделан самостоятельно студентами, аспирантами, магистрантами факультета радиофизики и компьютерных технологий: начиная от концептуального уровня и заканчивая разработкой электронных модулей, программного обеспечения и т.д. «В новый спутник добавлена полезная нагрузка, увеличено количество камер и их разрешение до нескольких десятков метров, есть модули передачи информации в Wi-Fi диапазоне – для измерения степени оценки деградации различных функциональных покрытий, которые очень важны в космосе. Спутник будет быстрее ориентироваться, предоставлять больше возможностей для проведения космофизических



экспериментов. Ведь основная его задача – образовательная. Студенты смогут управлять его различными подсистемами, давать команды, следить, как он будет функционировать на орбите», – ввел в курс дела младший научный сотрудник НИЛ информационно-измерительных систем факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ Алексей Николаев.

А Белорусский государственный технологический университет представил проект Национальной ксилотеки Беларуси. Единственная в нашей стране и самая крупная в Восточной Европе ксилотека – коллекция эталонных образцов натуральной и ископаемой древесины – насчитывает более 3 тыс. экспонатов растений со всей планеты, и уже инициирован процесс придания этому уникальному объекту статуса национального достояния. Ксилотека широко

используется для научных исследований, экспертной практики, в том числе судебной, для идентификации археологических артефактов, музейных ценностей и других изделий из древесины. «Важно идентифицировать возраст предоставленного образца, состояние, историю обработки, но самое главное – породу, ведь специалист может получать информацию из образца, как из открытой книги. Дело в том, что в мире свыше 40 тыс. растений, которые дают одревесневающий стебель, и, к сожалению, нет другой более быстрой, простой и неразрушающей методики идентификации древесных материалов, кроме сопоставления с эталонными образцами», – поясняет важность проекта его руководитель, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения, кандидат биологических наук Вячеслав Звягинцев. Также БГТУ продемонстрировал первый

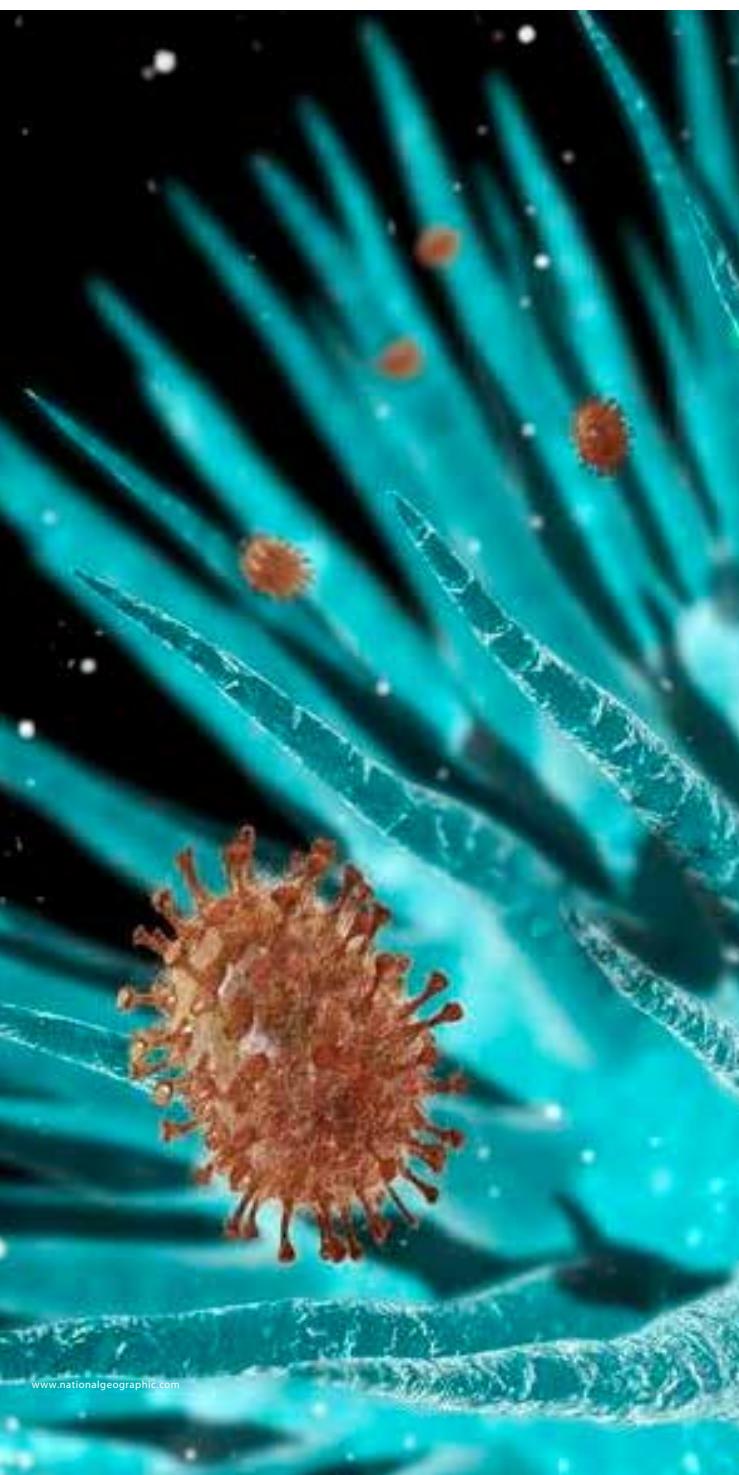
выведенный в Беларусь сорт лесного дерева – сосны обыкновенной «Негорельская», который получен учеными университета и уже прошел госиспытания. Это уникальное растение отличается не только высокой продуктивностью и устойчивостью к внешним факторам, но и тем, что шишки на этих деревьях растут грозьями, что облегчает получение высококачественных семян для восстановления лесов.

Выставка «Беларусь интеллектуальная» продемонстрировала лучшие достижения отечественной науки и вызвала огромный интерес у публики, получившей прекрасную возможность увидеть то, над чем работают белорусские ученые и какой вклад они вносят в развитие и благосостояние общества. **и**

Юлия ВАСИЛИШИНА
фото автора



СОВРЕМЕННАЯ ВИРУСОЛОГИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ ИНФЕКЦИОННОГО ХАРАКТЕРА



Андрей Гончаров,
директор Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН
Беларусь, кандидат
медицинских наук,
доцент

Сегодня остро стоит вопрос о разработке новых методов и средств защиты от биологических объектов инфекционной природы, которые оказывают или могут оказать негативное влияние на здоровье и благополучие населения. Современная вирусология – это не просто изучение строения и культивирования вирусов, а междисциплинарная наука на стыке клеточной биологии, иммунологии, молекулярной генетики, без которых невозможно развитие данного направления.

Поскольку вирусы являются особой формой жизни и не могут существовать без клетки-хозяина, их эффективное выделение и накопление невозможно без глубоких познаний в клеточной биологии. Достижения науки позволяют подбирать первичную или перевиваемую культуру клеток для конкретного вируса или даже видоизменять ее при помощи методов генной модификации, оптимизировать условия выращивания вирусов (питательные среды и добавки, культуральная посуда, биореакторы).

Исследования в области вирусологии и вакцинологии невозможны без применения познаний в области иммунологии и без использования иммунологических методов для детекции вирусов (иммуноферментный и иммунохроматограф-

фический анализы), определения гуморального и клеточного иммунного ответа на их компоненты с целью отбора наиболее эффективных белков и т.д.

Для выяснения генетической последовательности вирусов, в том числе происходящих мутаций, устойчивости и чувствительности к противовирусным препаратам, прогноза течения заболевания, классификации и филогенеза необходимы методы молекулярной биологии и генетики. Именно молекулярно-биологические подходы сделали в большинстве случаев ненужными методы классической вирусологии. В настоящее время специалисты гораздо чаще делают стандартные ПЦР-тесты или даже секвенируют изоляты вируса, нежели выделяют его на культурах клеток или в лабораторных животных.

Таким образом, полноценная вирусологическая лаборатория обладает возможностями выделения и накопления вируса в культурах клеток, его визуализации и распознания вирусных антигенов, выделения нуклеиновых кислот (ДНК/РНК) и определения последовательности генетического кода, клеточного и гуморального иммунного ответа на вирус, выявления антигенов вируса иммунологическими методами и, конечно же, возможностями разработки вакцин с помощью классических и инновационных технологий.

В 2021 г. по инициативе Председателя Президиума НАН Беларусь академика В.Г. Гусакова в составе Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь был создан Центр экспериментальной и прикладной вирусологии. Его сотрудники совместно с РНПЦ эпидемиологии и микробиологии разработали прототип первой белорусской вакцины против COVID-19, которая в предварительных доклинических исследованиях показала высокую эффективность, сравнимую с вакцинами, одобренными ВОЗ. В декабре 2022 г. завершена реконструкция Центра, и уже в 2023 г. начаты новые практические исследования, направленные на создание эффективных и востребованных вакцин для иммунопрофилактики болезней человека и животных.

К биологическим угрозам инфекционного характера можно отнести:

- **эмерджентные (внезапно возникающие) вирусные инфекции (ЭВИ) с природным резервуаром, в том числе особо опасные инфекции (ООИ);**
- **инфекции, циркулирующие в человеческой популяции и имеющие эпидемический и пандемический потенциал;**
- **антибиотикорезистентность и устойчивость вирусов к противовирусным лекарственным средствам;**

- **генетически модифицированные организмы и патогенные биологические агенты (ПБА), полученные при помощи методов синтетической биологии, в том числе в результате бесконтрольной научной деятельности;**
- **микроорганизмы, высвобождаемые в результате таяния льдов;**
- **случайные утечки ПБА из биолабораторий;**
- **направленное применение возбудителей инфекций в качестве биологического оружия (БО).**

Можно выделить основные факторы, влияющие на инфекционную заболеваемость и появление новых инфекций.

Продолжающиеся процессы глобализации, мобильность населения и активная миграция, туризм, а также вынужденные переселения в ходе локальных военных конфликтов и стихийных бедствий.

Возрастающая урбанизация с формированием крупных агломераций и изменением социальных условий проживания приводит к огромной скученности населения, что способствует интенсивному загрязнению атмосферного воздуха, почвы и воды. Из-за плохого качества последней возникают вспышки острых кишечных инфекций, а огромное количество свалок, не отвечающих санитарно-техническим и экологическим требованиям, способствует формированию ареалов обитания различных грызунов – переносчиков опасных инфекций.

Антропогенные изменения климата, преобразования природы приводят к росту контактов населения с дикой природой, а вырубка лесов, распашка полей, осушение болот, постройка городов, прокладка новых дорог заставляет животных искать новые места обитания.

Масштабирование животноводства позволяет вирусам находить новый резервуар, преодолевая межвидовой барьер.

Военные конфликты приводят к нарушению санитарно-эпидемиологической обстановки, снижению иммунитета населения вследствие психогенного стресса и проблем с питанием.

Учащение природных катаклизмов.

Недостаточныйхват населения профилактическими прививками. Бессспорно, что иммунизация – одна из наиболее успешных мер предотвращения инфекций, и распространение многих заболеваний контролируется почти исключительно вакцинацией (корь, полиомиелит). В этой связи антивакцинация представляет собой серьезную угрозу.

Совершенствование методов диагностики, позволяющих выявлять ранее неизвестные заболевания инфекционной природы.

По ряду причин именно вирусы – одна из наиболее опасных угроз XXI в. Эти универсальные патогены встречаются у всех живых организмов, присутствуют во всех экологических нишах, характеризуются чрезвычайным разнообразием, высокой способностью к изменчивости и адаптации.

Известно, что большая часть современных эпидемий и пандемий вызвана РНК-содержащими вирусами, что связано с высокими темпами их эволюции. Наиболее значимые связаны с вирусами гриппа А («свиной» грипп в 2009–2010 гг., «птичий» грипп), коронавирусами (SARS в 2002–2003 гг., MERS в 2012 г., текущая пандемия COVID-19), вирусами лихорадки Эбола (2014–2015 гг., 2018–2019 гг.), лихорадки Зика (2015 г.), оспы обезьян (2022 г.). Наиболее вероятно, что такая тенденция сохранится и в ближайшем будущем. Большинство возбудителей новых инфекций являются зоонозами, что связано с огромным разнообразием животного мира.

Источники зоонозных инфекций

К источникам зоонозных инфекций относят птиц, особенно перелетных, грызунов, рукокрылых, кровососущих членистоногих. Птицы способны переносить возбудителей инфекций на большие расстояния, причем разные виды взаимодействуют между собой во время остановок, контактируют водоемы. Грызуны – наиболее значимые из млекопитающих, являющиеся источниками зоонозных заболеваний (порядка 2600 видов). Рукокрылые также распространены по всему миру (более 1450 видов). Летучие мыши – серьезный резервуар особо опасных инфекций. Кровососущие членистоногие – переносчики вирусных и бактериальных болезней среди птиц и млекопитающих.

ПБА, представляющие наибольшую угрозу для формирования эпидемий и пандемий

Хотя в настоящее время невозможно точно предсказать потенциальную пандемию, однако среди возбудителей инфекцион-

ных заболеваний, которые представляют наибольшую угрозу, можно выделить следующие:

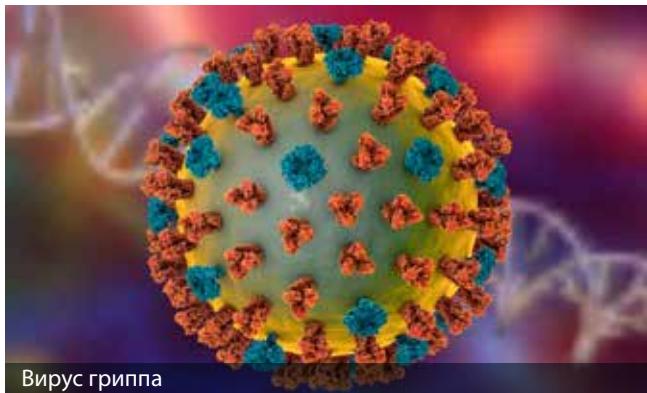
- *ортомиксовирусы* (вирусы гриппа A);
- *коронавирусы*;
- *филовирусы* (возбудители геморрагических лихорадок Эбола и Марбург);
- *аренавирусы* – возбудители геморрагических лихорадок Ласса, Мачуло, Хунин, Гуанарито;
- *флавивирусы* – возбудители широкого спектра опасных геморрагических лихорадок и энцефалитов;
- *поксвирусы* (оспа обезьян, натуральная оспа);
- *парамиксовирусы* (вирусы Нипа, Хендра).

Рассмотрим некоторые биологические угрозы инфекционного характера более подробно.

Вирусы гриппа

Вирусы гриппа А широко распространены в человеческой популяции и среди диких, домашних животных и птиц, они стали причиной 5 пандемий в XX и XXI вв. Известно 18 подтипов гемаглютинина и 11 – нейраминидазы, что дает в результате многочисленные варианты вируса. Кроме того, вирусы гриппа обладают чрезвычайно высокой генетической изменчивостью за счет мутаций и реассортации геномов, что также способствует легкому преодолению межвидового барьера. Так, с начала века официально зарегистрировано более 900 случаев заболевания человека гриппом птиц с летальностью более 50%.

Несмотря на наличие вакцин и лекарственных средств, специфически подавляющих активность вируса, – ингибиторов нейраминидазы, возможности борьбы с гриппом до сих пор ограничены. Так, болезнь, вызываемая новой разновидностью вируса гриппа А, нередко протекает настолько тяжело, что от момента появления первых симптомов до летального исхода проходит всего 1–3 суток. В этой связи особое внимание сосредоточено на необходимости профилактики болезни, и особенно вакцинации широких слоев населения. Существующие инактивированные вакцины против гриппа 2-го и 3-го поколения достаточно хорошо предотвращают тяжелые случаи болезни (до 90%), но в то же время их эффективность в профилактике легких и среднетяжелых форм колеблется от 40 до 70%. Эффективность рекомбинантных и векторных вакцин против гриппа, которые только начали появляться на мировом рынке, еще предстоит изучить.



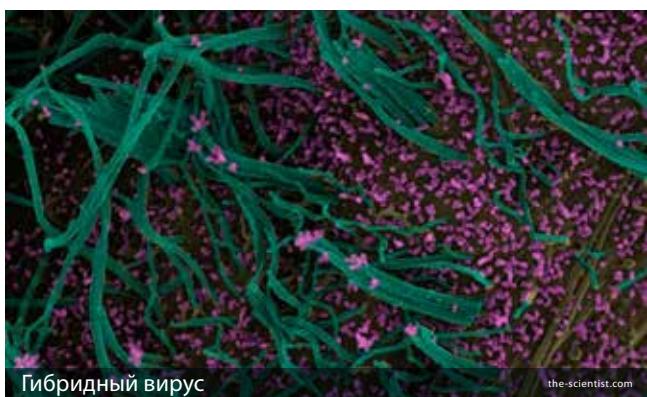
Вирус гриппа



Филовирус



Ортопоксивирус



Гибридный вирус

Одним из действенных способов борьбы с гриппом могла бы стать разработка универсальной вакцины, направленной на формирование иммунитета к консервативным белкам вируса. Несмотря на проводимую работу и имеющиеся прототипы вакцины, эффективность таких препаратов пока оставляет желать лучшего. Все вышесказанное дает основания полагать, что новая пандемия гриппа – лишь вопрос времени.

Филовирусы

Из 8 родов этого семейства патогенными для человека являются вирусы Марбург и 3 представителя рода Эболавирус, вызывающие тяжелейшие геморрагические лихорадки с высокой летальностью, достигающей 90%. По этой причине, а также вследствие их способности передаваться от человека к человеку и отсутствия высокоэффективной противовирусной терапии вирусы Марбург и Эбола классифицируются как патогены уровня BSL-4. К счастью, в отличие от многих РНК-содержащих вирусов, возбудители лихорадки Эбола характеризуются достаточно высокой генетической стабильностью.

Начало века ознаменовалось открытием нового рода филовирусов – *Cuevavirus* – и первого представителя вируса Ллови (LLOV), который был обнаружен во время исследования погибших летучих мышей на севере Испании, во Франции и Португалии. Несмотря на отсутствие до настоящего времени зарегистрированных случаев заболевания человека, вызванного новым филовирусом Ллови, межвидовой барьер считается потенциально преодолимым: установлено, что LLOV способен заражать клетки человека и реплицироваться в них. В этой связи необходимо проведение постоянного эпидемиологического и эпизоотологического мониторинга в эндемичных для вируса Ллови и других филовирусов регионах.

Ортопоксивирусы

Большой интерес для здравоохранения представляют вирусы рода *Orthopoxvirus* семейства *Poxviridae*. По данным Международного комитета по таксономии вирусов (ICTV), род *Orthopoxvirus* насчитывает 12 видов, в том числе вирус-возбудителей натуральной оспы и оспы обезьян. Особенностью многих вирусов данного рода является достаточно широкий круг живых организмов, которые подвержены болезни. Несмотря на то, что

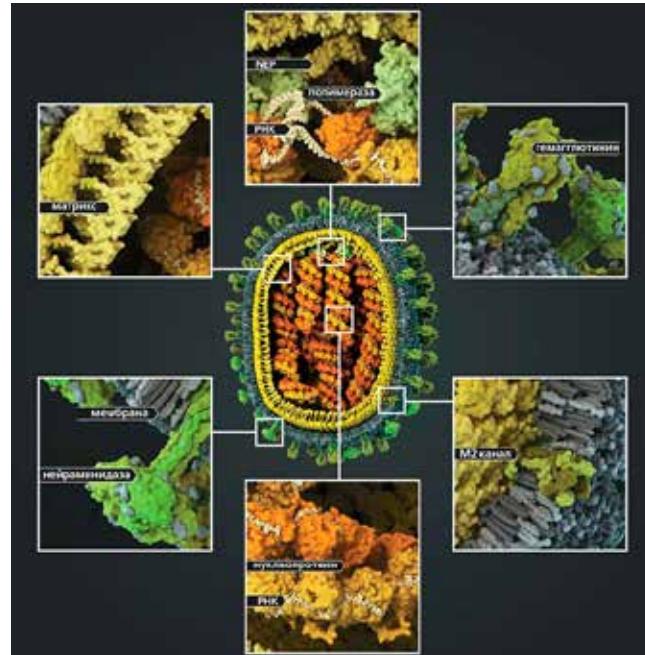
натуральная оспа ликвидирована 45 лет назад, как минимум в 2 странах сохраняются запасы живого возбудителя болезни. Кроме того, специалисты не исключают, что в результате мутации одного из ортопоксвирусов животных может возникнуть возбудитель, способный заражать человека и похожий по своим биологическим свойствам на вирус натуральной оспы. Так, известно, что за последние 20 лет заметно увеличилось число случаев болезни человека оспоподобными вирусами, в том числе вирусом оспы верблюдов в Индии (2011 г.), Северном Судане (2014 г.). Опасность мутаций этого вируса состоит в его высокой гомологии вирусу натуральной оспы (более 99%), что дает специалистам основание считать, что до превращения безопасного вируса в имеющий пандемический потенциал осталось буквально несколько мутаций. С учетом, что большая часть населения (старше 45 лет) уже не имеет иммунной защиты от поксвирусов, которая ранее формировалась в результате поголовной вакцинации, появление нового патогена может привести к биологической угрозе, намного более серьезной, чем «свиной», «птичий» грипп или COVID-19.

Гибридные вирусы

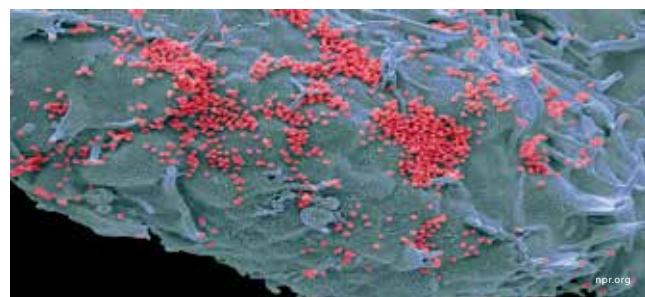
В октябре 2022 г. стало известно, что в ходе лабораторных экспериментов сотрудники Университета Глазго получили гибридный вирус, состоящий из фрагментов вируса гриппа и респираторно-синцитиального вируса (РСВ). Поскольку эти вирусы относятся к разным семействам, ранее считалось, что подобное слияние невозможно в принципе. Установлено, что гибридный вирус поражает более широкий спектр клеток, чем вирусы гриппа и РСВ, а также обладает способностью «ускользать» от иммунной системы хозяина. Открытие возможности гибридизации вирусов разных родов и даже семейств может объяснить случаи атипичного и тяжелого течения инфекций, особенно с поражением респираторного тракта. Существование других гибридных вирусов, их биологические свойства и медицинские последствия еще предстоит установить.

Микроорганизмы из прошлого

Еще одна биологическая угроза инфекционного характера, про которую не следует забывать, – древние микроорганизмы, высвобождаемые в результате таяния льдов Арктики и Антарктики.



Первая в мире полная достоверная модель вируса гриппа A/H1N1 с атомным разрешением, созданная в рамках проекта Viral Park компании Visual Science при участии Национального центра биотехнологии в Мадриде



Клетка с вирионами ВГА на своей поверхности. Фотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа и раскрашена



Вирионы РСВ (вытянутые голубые образования) на фоне культуры клеток эпителия легких человека. Желтые точки – специальные антитела, при помощи которых помечают поверхностные белки вирионов. Микрофотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа и раскрашена

Их изучение находится пока на начальной стадии, но уже подтвержден факт наличия жизнеспособных вирусов и бактерий. Так, к примеру, в 2021 г. исследователи Университета штата Огайо расшифровали геномы 33 вирусов, обнаруженных в образцах льда возрастом 15 тыс. лет из Тибетского нагорья. Четыре из них оказались бактериофагами, а остальные не были похожи ни на один известный науке инфекционный агент. В 2022 г. ученые университета Экс-Марсель обнаружили 7 пандоравирусов в образцах вечной мерзлоты из Якутии, их возраст – от 27 до 48 тыс. лет. Несмотря на то, что обнаруженные гигантские ДНК-вирусы поражают только амеб, существует вероятность выявления патогенных также для человека и животных.

Некоторые успехи в изучении этой проблемы не дают возможности адекватно оценить потенциальные риски «возвращения» микроорганизмов прошлого и их эпидемический потенциал. В этой связи научные исследования по этой теме представляют большой интерес и практическую значимость.

Утечки ПБА из лабораторий

В последние годы все чаще появляется информация об утечках патогенных биологических агентов из лабораторий. Так, к примеру, считается, что возбудитель натуральной оспы хранится лишь в лабораториях ГНЦ ВБ «Вектор» (Россия) и Центрах по контролю и профилактике заболеваний (США). Однако получили широкую огласку случаи выявления «забытых» образцов этого вируса в лабораториях Института здравоохранения в Мэриленде (2014 г.) и компании Merck (2021 г.). Остается лишь предполагать, сколько таких образцов, в том числе возбудителей других ОИ, осталось по всему миру и как они могут быть использованы.

Следует также обращать особое внимание на наличие возбудителей ОИ в сопредельных странах. В СССР, а позднее в РФ, велась активная работа с инфекционными агентами высокой группы риска. В настоящее время крупнейшие центры (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии) занимаются мониторингом и диагностикой ОИ. Из официальных источников известно, что в них хранятся образцы высокопатогенных вирусов и бактерий, потенциально способных

вызвать эпидемии и пандемии опасных заболеваний с высоким процентом летальности (10–90%), специфические средства лечения и медицинской профилактики которых отсутствуют.

В Украине функционируют научные организации, в которых велись работы с возбудителями ПБА, имеются коллекции вирусов (г. Киев, г. Львов). Факт того, что на территории этой страны проходят военные действия, предполагает риск высвобождения ПБА и попадания их в руки злоумышленников.

Биотерроризм и биологическое оружие

Не исключено использование патогенных биологических агентов и с целью биотерроризма. К ним относят бактерии (*Bacillus anthracis*, *Yersinia pestis*, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Coxiella burnetii*, *Brucella suis* и др.), вирусы (натуральная оспа, вирусы-возбудители геморрагических лихорадок, вирус желтой лихорадки), токсины (ботулотоксин, холерный токсин и др.). Нельзя исключать, что некоторые страны до сих пор продолжают разработки БО.

По поражающему действию на человека биологическое оружие приближается к ядерному. Так, по расчетам экспертов ВОЗ, через 3 дня после применения 50 кг спор возбудителя сибирской язвы по направлению ветра в сторону города с населением 500 тыс. человек будут поражены 25% жителей, а 76% из них умрут.

Значительно упростилась и удешевилась задача получения биомассы патогенных микроорганизмов, которые могут быть использованы с противозаконными целями. Для организации такой лаборатории не требуется много средств: минимальная стоимость комплекта оборудования для изготовления компонентов БО составляет примерно 100–200 тыс. долл. Кроме того, в мире в последние десятилетия активно развиваются такие направления, как вирусология и биотехнологии. Это привело к тому, что за 30–40 лет число специалистов в этих областях знаний увеличилось в десятки раз, в том числе тех, кто способен освоить технологии накопления биомассы возбудителей ОИ. Общедоступность подробной информации о патогенах 3–4-й группы риска, их генетической структуре, способах культивирования, новейшие технологии модификации геномов

и методы синтетической биологии развязывают руки потенциальным злоумышленникам.

Бесконтрольная научная деятельность

Один из самых свежих примеров такой деятельности, несущей угрозу благополучию населения, относится к 2022 г., когда группа ученых Бостонского университета создала рекомбинантный вирус, сочетающий Омикрон и оригинальный Уханьский штамм. Эксперименты на мышах показали 80%-ный уровень летальности после воздействия данного «комбинированного» вируса, хотя в контрольной группе грызунов, которых заразили штаммом Омикрон, ни одна особь не умерла [7]. Возникают закономерные вопросы касательно истинных целей проведенного эксперимента и чрезвычайной опасности таких научных изысканий. Очевидно, что подобные эксперименты по целенаправленному усилению вирулентных свойств микроорганизмов представляют большую опасность ввиду возможности утечки модифицированных ПБА из лабораторий и возникновения пандемии невиданного до сих пор масштаба. Даже новая коронавирусная инфекция с относительно невысокой смертностью около 0,5–1,0% внесла существенные негативные корректизы в жизнь общества, на годы затормозив развитие многих отраслей экономики. Распространение же микроорганизмов с более высокой летальностью может реально поставить под угрозу существование человечества как такового.

Генетическая модификация микроорганизмов и методы синтетической биологии

Не менее серьезной угрозой может стать создание генетически модифицированных организмов и микроорганизмов, полученных методами синтетической биологии. Это новое направление исследований, представляющее собой следующий шаг в развитии генной инженерии – от модификации или перемещения нескольких генов между организмами к построению уникальных биологических систем с «запограммированными» функциями и свойствами. Впервые термин «синтетическая биология» был предложен немецким биохимиком Барбара Хобом в 1980 г. для описания трансгенной бактерии. Основные достижения в данной области связаны с именем американ-

ского генетика Крейга Вентера, которому в 2003 г. удалось синтезировать геномную ДНК бактериофага phiX174, в 2008 г. – полный бактериальный геном *Mycoplasma genitalium*, а в 2010 г. – геном *Mycoplasma mycoides*. В 2010 г. в институте Крейга Вентера на основе искусственно синтезированного генома была создана первая живая клетка, способная к размножению. Исследователи называют результат своего эксперимента гибридной живой клеткой, так как она была использована в качестве реципиента генома, созданного искусственно. В 2016 г. ученые сконструировали полностью искусственную клетку с минимальным набором генов, необходимых для ее функционирования. Считается, что в перспективе могут появиться искусственные геномы уже не на основе природных аналогов – ДНК и РНК, а базирующиеся на иных принципах кодирования.

Противодействовать вирусным угрозам можно по нескольким научно-практическим направлениям. Одно из них – разработка современных систем и средств мониторинга вирусных инфекций, в том числе особо опасных и эмерджентных в окружающей среде. Такие устройства могут быть использованы для постоянного мониторинга возбудителей инфекций в воздухе для применения на пограничных пунктах, в аэропортах, местах скопления людей, в пищевой продукции, на упаковке и др. Требуется разработка биосенсоров, ультрамобильных лабораторий для экспресс-диагностики, позволяющих получать результаты в течение кратчайшего времени.

В Республике Беларусь будет осуществляться скрининг потенциальных носителей инфекций, представляющих наибольшую опасность: высокопатогенных вирусов гриппа (птицы, млекопитающие), фибо- и аренавирусов (рукокрылье), флавивирусов (кровососущие насекомые) и др. Данные мероприятия будут направлены на своевременное выявление опасных для человека инфекций у диких животных. Это позволит эффективно предотвращать эпидемии болезней у человека и сохранять популяции животных.

Планируется совершенствовать молекулярно-биологические методы диагностики и разрабатывать инновационные средства детекции ОOI и ЭВИ, выявлять в биологических образцах пациентов новые, еще не описанные и не изученные вирусы, представляющие высокую опасность, относящиеся к семействам фибо-, арена-, флави-, поксивирусов и других (за последние десятилетия описаны десятки

опасных вирусов, относящихся к ним). Средства диагностики, имеющиеся в арсенале врачей, позволяют диагностировать лишь известные вирусы. Ранее не описанные будут с высокой вероятностью «пропущены». Предлагается создать инновационные методы, которые позволяют обнаруживать их путем определения «консервативных» последовательностей генов, специфичных для целых родов и семейств вирусов.

Разработка новых способов и средств лечения вирусных инфекций

В последние два десятилетия на мировом фармацевтическом рынке появились новые противовирусные лекарственные средства для лечения таких хронических вирусных инфекций, как ВИЧ, вирусные гепатиты В и С, COVID-19. Несмотря на их высокую эффективность, приобретение вирусами лекарственной устойчивости практически неизбежно, что вынуждает исследователей моделировать структуру, синтезировать и испытывать все новые препараты, механизм действия которых отличается от относящихся к старому поколению.

Нужно отметить, что против многих вирусных инфекций отсутствуют как вакцины, так и специфические препараты. Имеется возможность разработать универсальное средство для профилактики и лечения инфекционных заболеваний, основанное на способности Т-лимфоцитов и дендритных клеток стимулировать иммунитет против вирусных и микробных антигенов. Так, у сотрудников Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь имеется успешный опыт лечения хронического гепатита В и туберкулеза легких при помощи дендритных клеток, что вселяет надежду на возможность разработки такой терапии против многих других инфекций. Применение вирусспецифических Т-лимфоцитов и дендритных клеток может не обладать очень высокой эффективностью, но в отсутствие иных лечебных и профилактических средств станет единственной альтернативой для спасения пациента.

Кроме того, клеточные технологии активно используются для лечения вирусных инфекций, при которых выявляется гиперактивация системы иммунитета: грипп, COVID-19. Проведенные в 2021 г. БГМУ и Институтом биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь клинические испытания по примене-

нию пулированных донорских мезенхимальных стволовых клеток в комбинированном лечении тяжелых форм новой коронавирусной инфекции показали хорошие результаты, что позволило Министерству здравоохранения утвердить инструкцию по применению.

Разработка вакцин против актуальных инфекционных заболеваний

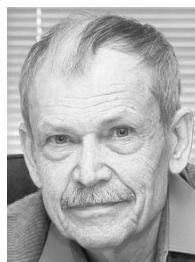
В немалой степени благодаря пандемии COVID-19 на рынок массово вышли вакцины нового поколения на основе адено-вирусных векторов, мРНК, ДНК, кодирующих иммуногенные белки SARS-CoV-2. Данные технологии разработаны достаточно давно, но ввиду определенного недоверия медицинского сообщества (которое достаточно консервативно) к новым подходам долгое время широко не использовались. Однако страх перед последствиями COVID-19 затмил предубеждения к новым типам вакцин, преимуществом которых перед старыми вариантами является более высокая иммуногенность и простота модификации состава препарата.

Все больший интерес вызывают универсальные и комбинированные вакцины против гриппа, COVID-19 и других вирусных инфекций, ведутся дискуссии о проведении в будущем индивидуальной вакцинации смесями антигенов, подобранными для каждого конкретного индивидуума после иммунологического обследования.

Нужно отметить, что наличие специалистов и биолабораторий для разработки и производства вакцин – важнейшая составляющая биобезопасности страны. Только при наличии возможности создать в кратчайшие сроки вакцину против любой инфекции и обеспечить ею в полной мере все население можно говорить об инфекционной безопасности. Опыт 2020 г. показал, что лишь несколько стран (РФ, КНР, Куба) были готовы поставлять нам вакцины против COVID-19 без лишних проволочек, не помешавшая нашу страну в долгий лист ожидания.

Поскольку в целом Беларусь полностью обеспечена качественными вакцинами, одним из важных направлений деятельности лабораторий вирусологии в нашей стране может стать разработка вакцин для профилактики вирусных инфекций, специфичных для стран Африки и Азии, что представляет значительный экспортный потенциал. ■

ИНТЕРФЕРОНЫ И ИХ ИНДУКТОРЫ КАК ЭЛЕМЕНТЫ БОРЬБЫ С COVID-19



Анатолий Зинченко,
завлабораторией
молекулярной
биотехнологии
Института
микробиологии
НАН Беларусь,
член-корреспондент



Маргарита Винтер,
младший научный
сотрудник лаборатории
молекулярной
биотехнологии
Института
микробиологии
НАН Беларусь



Илья Казловский,
старший научный
сотрудник лаборатории
молекулярной
биотехнологии
Института
микробиологии
НАН Беларусь, кандидат
биологических наук

COVID-19 – респираторная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2, представляет собой опасное заболевание, которое может протекать как в виде ОРВИ легкого течения, так и в тяжелой форме, нередко заканчивающейся летальным исходом. С 11.03.2020 г. распространение этого заболевания было признано Всемирной организацией здравоохранения пандемией, и по состоянию на начало сентября 2022 г. было зарегистрировано уже более 600 млн случаев инфицирования людей, из которых 6,5 млн умерли. За это время для контроля коронавирусной инфекции учеными были предложены вакцины разных поколений, а также другие противовирусные средства: плазма крови переболевших пациентов, ингибиторы вирусных РНК-полимеразы и протеазы, ингибиторы процесса проникновения вируса в клетку, малые интерферирующие РНК, monoclonalные антитела, рибонуклеазы, стволовые клетки, квантовые точки, растительные препараты, лекарства традиционной китайской медицины, соли лития, эвкалиптовое эфирное масло, лактоферрин, нанозимы, метиленовый синий и т.д. Широта и разнообразие представленной линейки свидетельствуют о том,

что кардинального способа решения проблемы пандемии еще не найдено, что подтверждается в том числе и продолжающимся ростом количества госпитализаций и смертей.

Сегодня основной путь борьбы с SARS-CoV-2 – иммунизация населения вакцинами, разработанными специалистами многих стран. Однако сосредоточение стратегии только на вакцинации имеет существенные недостатки, в частности:

- *постоянное появление новых мутантных вариантов вируса;*
- *затрудненный доступ к вакцине для значительной части населения мира;*
- *большое количество людей в разных странах, отказывающихся от прививок.*

История разработки вакцин против вирусов гриппа и ВИЧ свидетельствует, что создание эффективного средства против вирусной инфекции (особенно в условиях ограниченного времени) – процесс очень сложный. Что касается SARS-CoV-2, то ряд особенностей данного вируса указывает на то, что побороть его с помощью прививок – задача трудновыполнимая.

Во-первых, как и вирус гриппа, SARS-CoV-2 подвержен мутациям, и антигенный дрейф (основная проблема с нестабильностью

генотипа и фенотипа вируса гриппа) в отношении него весьма вероятен. Во-вторых, прошлый опыт неудачной разработки вакцины против SARS-CoV свидетельствует о том, что вакцины, доказавшие свою эффективность с точки зрения защиты молодых мышей, оказываются небезопасными для старых животных. Этот случай заслуживает самого серьезного внимания, поскольку пожилое население считается группой высокого риска заражения COVID-19, осложнений и смертности.

Еще одной важной проблемой, связанной с безопасностью вакцин, является феномен антителозависимого усиления инфекции – явление, при котором связывание вируса со слабонейтрализующими антителами способствует его проникновению в иммунные клетки инфицированного организма. Кстати, именно это служит препятствием для создания эффективной вакцины против ВИЧ.

Долгосрочная специфическая защита от COVID-19 также сомнительна, поскольку уже было показано, что антитела против SARS-CoV-2 не циркулируют в крови дольше одного года, снижаясь наполовину примерно каждые 73 дня после перенесенной инфекции.

Исходя из приведенной информации, становится очевидным, что альтернативные подходы к защите населения от вирусных заболеваний должны как минимум обсуждаться. В связи с этим внимание некоторых исследователей было обращено на интерфероны – видоспецифичные гормоноподобные противовирусные белки, которые, как известно, вырабатываются клетками позвоночных в ответ на любые вирусные инфекции.

Природа и свойства интерферонов. Интерфероны представляют собой достаточно давно и хорошо изученный класс цитокинов. Первый интерферон был описан в середине прошлого века как вещество, которое способно защищать клетки от вирусной инфекции [1]. Основными функциями интерферонов являются противовирусная активность, противоопухолевые и иммуномодулирующие свойства.

В зависимости от клеток, в которых они производятся, интерфероны классифицируют на лейкоцитарные (α), фибробластные (β) и иммунные (γ). Кроме того, в соответствии со строением клеточного рецептора, генетической структурой и генной локализацией интерфероны подразделяются на 3 типа. К 1-му типу у человека принадлежат 13 представителей интерферонов- α и по одному – интерферонов- β , - κ , - ϵ и - ω . Ко 2-му типу принадлежит лишь один – интерферон- γ . Относительно недавно (в 2002 г.) стало известно о новом, 3-м типе интерферонов – λ . Именно к нему сейчас привлечено повышенное внимание исследователей.

Как известно, представители 1-го типа интерферонов (в основном - α и - β) характеризуются выраженным противовирусным эффектом в отношении большинства ДНК- и РНК-содержащих вирусов, бактерий и других инфекционных агентов. Эти цитокины действуют на все этапы размножения вирусов – от проникновения в клетку до выхода из нее вирусных частиц – потомства. Но особенно эффективно они блокируют стадии транскрипции и трансляции, что переводит клетку в особое состояние «невосприимчивости» к вирусной инфекции [2].

Недавно открытый 3-й тип интерферонов (интерферон- λ) также обладает выраженной противовирусной активностью, несмотря на то, что использует иной тип рецепторов. Важно подчеркнуть, что, в отличие от интерферонов 1-го типа, основным механизмом действия интерферона- λ является локальный, местный механизм, а системный эффект не имеет большого значения.

Характеризуя иммуномодулирующие свойства интерферонов, следует указать на их способность вмешиваться практически во все функции иммунных клеток. Они активируют многие рецепторы, распознающие патоген-ассоциированные молекулярные паттерны, стимулируют и усиливают провоспалительные реакции, повышают цитотоксичность натуральных киллеров (NK-клеток), усиливают иммунные ответы, активируя и рекрутируя иммунные клетки.

Анализ полученных к настоящему времени данных позволяет сделать заключение о том, что интерфероны 1-го типа играют центральную, регулирующую роль в системном противовирусном иммунном ответе, а интерфероны 3-го типа выступают ключевыми факторами местного противовирусного ответа; отсутствие у последних системных эффектов, по всей видимости, освободит их от тяжелых побочных реакций, иногда наблюдающихся при терапии хронических вирусных инфекций с применением интерферонов 1-го типа.

Вводить препараты интерферона человеку и животным можно внутримышечно, подкожно, внутривенно, интраназально и местно. Пероральный способ введения изучается только для иммобилизованных форм этих

белков. Внутривенная инфузия приводит к более быстрому распределению и высокой концентрации интерферона в крови, но период полувыведения его при этом значительно сокращается. По этой причине внутримышечное или подкожное введение для терапевтического использования интерферонов более эффективно.

Однако необходимо отметить, что применение высоких доз интерферонов способно привести к выработке в организме (как людей, так и животных) нейтрализующих антител и побочным эффектам, таким как аллергические реакции, гипертермия, потеря аппетита и анемия.

Доклинические исследования интерферонов. РНК-содержащий вирус SARS-CoV-2, вызвавший пандемию COVID-19, использует в качестве рецепторов молекулы ангиотензинпревращающего фермента 2-го типа (ACE2) (рис. 1), которые локализованы на поверхности эпителиальных клеток носовой и ротовой полости, конъюнктивы глаз и других клеток организма, поэтому нарушение дыхания является рано и быстро развивающимся симптомом коронавирусной инфекции. При этом выраженность воспа-

лительного ответа при COVID-19 зависит от дозы проникшего возбудителя и резистентности организма: при относительно низкой дозе SARS-CoV-2 первичная фиксация вируса происходит в клетках мерцательного эпителия верхних дыхательных путей, а своевременный и адекватный иммунный ответ сдерживает распространение и репликацию вируса, следствием чего является развитие легких, а порой и бессимптомных форм заболевания.

Неожиданно оказалось, что экспрессия рецепторов ACE2 стимулируется интерферонами. Так, в одном из экспериментов *in vitro* исследователи показали, что интерфероны 1-го и 2-го типов активируют синтез ACE2 в клетках верхних дыхательных путей, потенциально способствуя проникновению вируса в эти клетки. Примечательно, что интерферон 3-го типа, также изученный в этих исследованиях, эффективно активировал противовирусную защиту и совсем незначительно повышал уровень матричной РНК, кодирующей ACE2.

Американские исследователи, инфицируя культуру клеток респираторного эпителия человека вирусом SARS-CoV-2, обнаружили

полное отсутствие интерферонового ответа клеток на этот вирус. Однако последующая обработка интерферонами 1-го и 3-го типов значительно снижала репликацию вируса в эпителии этих клеток. Результаты этого изыскания позволили предположить, что SARS-CoV-2 при заражении клеток не вызывает в них интерфероновый ответ, но чувствителен к антивирусному действию экзогенных интерферонов. Иначе говоря, профилактика интерферонами 1-го и 3-го типов может оказаться эффективным методом борьбы с COVID-19 [3].

Это предположение подтвердили китайские специалисты, работавшие с пациентами, инфицированными SARS-CoV-2. По их данным, профилактическое применение назальных препаратов, содержащих интерферон- α , снизило заболеваемость COVID-19 среди 2944 врачей города Ухань за 28 дней исследования с 90% до ~0% [4].

Немецкие ученые провели сравнительное изучение ингибирующей активности интерферона- α и интерферона- λ против SARS-CoV-2 и SARS-CoV-1, используя две линии эпителиальных клеток млекопитающих (человека и обезьяны). Был обнаружен дозозависимый эффект подавления репликации SARS-CoV-2 обоими интерферонами. Против SARS-CoV-1 в использованных клеточных линиях оказался активным только интерферон- α . Таким образом, вирус SARS-CoV-2 проявил себя более чувствительным к интерферонам, чем SARS-CoV-1.

Эти данные свидетельствуют о том, что интерферон 1-го типа и менее склонный к побочным эффектам интерферон 3-го типа, по-видимому, можно использовать для терапии и профилактики COVID-19.

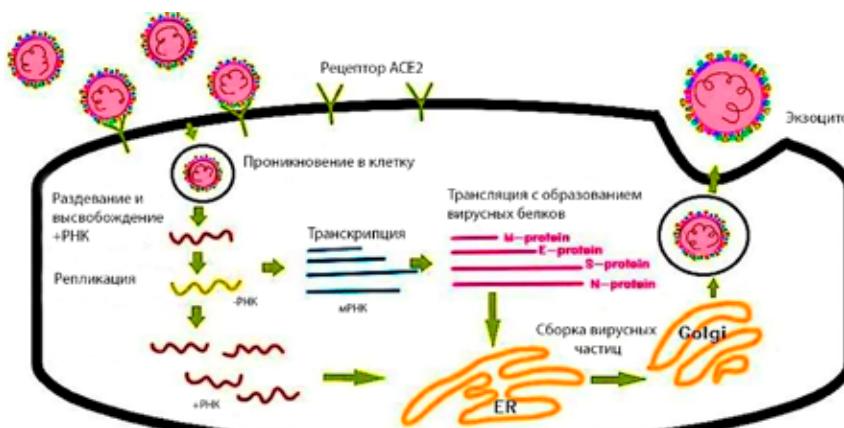


Рис. 1. Цикл репликации SARS-CoV-2

Применение интерферонов для лечения COVID-19. Прежде всего следует отметить, что результаты клинического изучения действия интерферонов на пандемический коронавирус трудно сравнивать из-за высокой вариабельности обнародованных показателей – исходов лечения, типов и способов введения препаратов интерферонов и, самое главное, сроков терапевтического вмешательства.

Поскольку интерфероны являются частью врожденной иммунной системы, уже в самом начале пандемии COVID-19 у ряда исследователей возникла мысль использовать их для профилактики и терапии SARS-CoV-2. Тем более что уже имелись многообещающие результаты применения интерферонов в отношении других эпидемических коронавирусов – SARS и MERS. Принципиальную возможность терапии интерферонами коронавирусной инфекции обосновывало сообщение [5] о результатах клинических исследований пациентов с COVID-19, показывающих, что подкожное введение интерферона- β было связано с более быстрым выздоровлением от тяжелого респираторного синдрома и снижением смертности пациентов.

Эти результаты подтверждены затем двумя проведенными клиническими испытаниями, в ходе которых интерферон- β вводили либо в комбинации с лопинавиром, ритонавиром и рибавирином, либо отдельно в виде ингаляции. Терапия рекомбинантным интерфероном- β в сочетании с лопинавиром-ритонавиром также вызвала снижение смертности в недавно завершенном рандомизированном клиническом исследовании госпитализированных пациентов с ближневосточным респираторным синдромом (MERS).

Здесь следует отметить, что, как и другие члены семейства коронавирусов, SARS-CoV-2 обладает способностью ингибировать в зараженных клетках как синтез самих интерферонов, так и механизмы проявления ими своей противовирусной активности и таким образом частично уклоняться от врожденной иммунной системы организма-хозяина.

К сожалению, кроме интерферонопатии, непосредственно индуцированной этим патогеном, имеется и другое препятствие – популяция людей, которые вообще не способны отвечать на заражение SARS-CoV-2 продуцированием интерферонов 1-го типа. Поэтому неудивительно, что у трети пациентов при поступлении в одну из клиник Парижа уровни интерферона- β в сыворотке крови были ниже предела обнаружения этого цитокина. Однако если интерферон выявлялся, его уровни у тех пациентов, которые умерли (до 30-го дня лечения), были выше, чем у выживших [6].

Некоторые исследователи указали на неожиданную корреляцию между уровнем интерферона- β в сыворотке крови и смертностью части пациентов от COVID-19, что, по-видимому, было вызвано развитием так называемого цитокинового шторма.

Важнейший вывод из многих работ, посвященных применению интерферонов для терапии COVID-19, заключается в необходимости учитывать сроки лечения. Другими словами, введение интерферона на ранних стадиях инфекции SARS-CoV-2 приводит к благоприятному клиническому исходу. Напротив, позднее введение (≥ 5 дней после госпитализации) связано с повышенной смертностью, ско-

ре всего, из-за развития цитокинового шторма.

Таким образом, в рамках концепции персонализированной медицины терапия интерферонами 1-го типа не может быть рекомендована пациентам с COVID-19 с высоким уровнем таких интерферонов в крови или позже 5 дней после появления симптомов заболевания [5, 6].

Российские ученые исследовали совместное использование ректальных суппозиториев с интерфероном- α в составе комплексной терапии от коронавирусной инфекции. В группе, получавшей дополнительное лечение интерфероном, выздоровление произошло на семь дней раньше, чем у пациентов, получавших только стандартное лечение.

Некоторые исследователи зарегистрировали повышенную резистентность к интерферону у мутантных вариантов SARS-CoV-2. Это указывает на то, что уклонение от интерфероновой системы защиты является важной движущей силой эволюции SARS-CoV-2, поэтому нужен индивидуальный подбор вида интерферона для лечения пациентов с измененным штаммом вируса.

Фармакотерапевтический потенциал индукторов интерферонов. По современным представлениям, индукторы интерферонов представляют собой разнородную по структуре группу химических соединений, способных при введении в организм позвоночных вызывать образование эндогенных (аутологичных) интерферонов [7]. При этом применение препаратов, которые индуцируют синтез эндогенных интерферонов, имеет ряд преимуществ перед экзогенными интерферонами [8]:

- индукторы относительно стабильны и не обладают антигенностью;
- естественный (хотя и стимулированный) синтез эндогенного интерферона не вызывает гиперинтерферонемии, которая нередко возникает при введении экзогенных (особенно рекомбинантных) интерферонов и приводит к тяжелым побочным явлениям;
- однократное введение индуктора интерферона обеспечивает длительную циркуляцию интерферона на терапевтическом уровне. Для достижения такого уровня эндогенного интерферона требуется его многократное введение, поскольку время полужизни этого вещества в крови составляет всего порядка 40 мин.

Немаловажно, что широко применяемые сейчас рекомбинантные интерфероны являются в основном препаратами только интерферона- α , что должно ограничивать их противовирусные свойства, так как для эффективной противовирусной защиты необходимо наличие всех трех классов интерферонов, синтез которых и вызывается применением индукторов интерфероногенеза.

Наконец, отдельно следует упомянуть о технологических и практических проблемах, сопряженных с производством и хранением интерферонов как белковых препаратов.

Уже давно и достоверно установлено, что индукция интерферонов 1-го типа играет важную роль в формировании иммунного ответа против различных вирусных инфекций, в том числе коронавирусных. Поэтому уже в самом начале текущей

пандемии было высказано мнение, что противовирусные препараты, способные индуцировать эндогенные интерфероны, могут быть полезны и для борьбы с COVID-19 [9].

К вопросу о создании универсального противовирусного средства. Относительно недавно выяснилось, что центральную роль во врожденных механизмах защиты позвоночных от разнообразных микробных патогенов играет адаптерный белок STING (от англ. STimulator of INterferon Genes), ранее известный как TMEM 173, MPYS, MITA и ERIS [10]. Активация этого белка циклическим динуклеотидом цикло-ГМФ-АМФ – продуктом соответствующей синтазы – приводит к индукции как интерферонов 1-го (α и β) и 3-го (λ) типов, так и многочисленных цитокинов и хемокинов, которые супрессируют репликацию патогенов и способствуют развитию адаптивного иммунитета. Другими словами, STING служит эволюционно сложившейся первой линией защиты организма от любых инфекций, в том числе от широкого спектра респираторных вирусов. Следовательно, вещества-агонисты STING могут рассматриваться в качестве профилактических и терапевтических средств борьбы с любыми известными (а также и еще не известными) патогенными вирусами [11].

В этой связи принципиально важно подчеркнуть, что агонистами STING (а следовательно, индукторами эндогенных интерферонов) являются не только

эукариотические циклические динуклеотиды, но и циклические динуклеотиды цикло-ди-АМФ и цикло-ди-ГМФ бактериального происхождения [12] (рис. 2).

Таким образом, в качестве эффективных средств, ингибирующих различные вирусы, в том числе SARS-CoV-2, могут выступать не только препараты самих интерферонов 1-го и 3-го типов, но и три известных на сегодняшний день агониста адаптерного белка STING – циклические динуклеотиды эукариотического (cAGMP) и прокариотического (цикло-ди-АМФ и цикло-ди-ГМФ) происхождения.

Поскольку адаптерный белок STING при активации включает эволюционно сформированную у позвоночных систему защиты от любых вирусов, природные агонисты (активаторы) этого белка, в частности циклические динуклеотиды бактериального происхождения – цикло-ди-АМФ и цикло-ди-ГМФ, могут рассматриваться в качестве реальных кандидатов на роль универсального противовирусного средства.

Введение в организм позвоночных (человека или животного) бактериального циклического динуклеотида (цикло-ди-ГМФ или цикло-ди-АМФ) имитирует внедрение инфекционного агента, что должно приводить к включению эволюционно сформированной системы универсальной противовирусной защиты, основанной на синтезе интерферона.

То, что активация STING может представлять собой многообещающую терапевтическую страте-

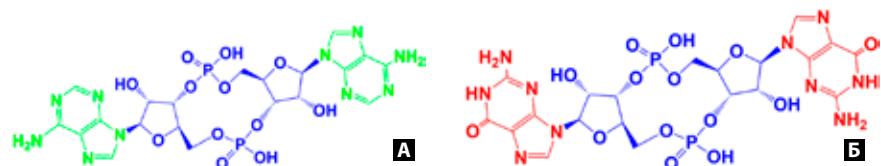


Рис. 2. Структурная формула цикло-ди-АМФ (А) и цикло-ди-ГМФ (Б)

тию для контроля над SARS-CoV-2, следует также из сообщения [13], авторы которого показали, что введение однократной интраназальной (1–10 мкг за 6–24 ч до заражения) дозы димерного амидобензимидазола трансгенным мышам (экспрессирующим человеческий рецептор АПФ2) оказывает защитное действие.

В плане развития рассматриваемого направления с помощью методов генетической инженерии нами созданы бактериальные штаммы – продуценты ферментов, которые катализируют реакции синтеза цикло-ди-ГМФ и цикло-ди-АМФ в одну стадию из, соответственно, двух молекул ГТФ и АТФ. Относительно редко встречающейся особенностью этих штаммов является то, что они экспрессируют рекомбинантную дигуанилатцилазу [14] и диаденилатцилазу [15] в виде катализически активных так называемых телец включения. В отличие от водорастворимых ферментов, такие тельца включения можно использовать в качестве биокатализаторов неоднократно, что, безусловно, должно значительно снизить затраты на получение целевых динуклеотидов.

В настоящее время нами разрабатываются биологические технологии препартивного (на уровне сотен граммов) получения цикло-ди-АМФ с целью его доклинического изучения в качестве профилактики и терапии COVID-19.

Заключение. Несмотря на создание большого количества специфических вакцин и ряда противовирусных химиопрепараторов прямого действия (ремдесивир, молнуриправир, пакловид), идеального средства борьбы с пандемическим коронавирусом (в отношении активности, безопасности, технологичности в производстве, доступ-

ности для широких слоев населения и т.д.) еще не найдено. В связи с этим представляется оправданное обратить внимание на систему интерферона, которую создала природа в ходе тысячелетнего противостояния позвоночных и вирусов. Эта система предусматривает синтез (в ответ на обнаружение патогенов в своем организме) особых белков-интерферонов, которые индуцируют множество различных механизмов защиты, приводящих в конце концов к элиминации внедрившихся инфекционных патогенов.

Следует отметить, что все современные патогенные вирусы для своего существования «вынуждены» в той или иной степени подавлять эту систему. Так, иммунопатогенез новой коронавирусной инфекции COVID-19 проявляется, в частности, в дефиците в организме пациентов противовирусных эндогенных интерферонов в начале заболевания с последующей гиперпродукцией их и других провоспалительных цитокинов, приводящей к развитию губительного цитокинового шторма. Из этого следует, что рациональная стратегия применения интерферонов заключается в профилактике или во введении интерферонов 1-го (- α и - β) и 3-го (- λ) типов пациентам в первые пять суток заболевания.

Нам представляется логичным вместо самого интерферона использовать его индукторы, поскольку введение в организм человека или животного, например, циклических динуклеотидов бактериального происхождения должно имитировать атаку инфекционного агента и приводить к практически мгновенному включению эволюционно сформированной системы универсальной защиты от всех без исключения инфекционных патогенов. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. A. Isaacs. Virus interference. I. The interferon / A. Isaacs, J. Lindenmann // Proc. R. Soc. Lond. Series B Biol. Sci. 1957. Vol. 147. №927. P. 258–267.
2. L. Ye. Interferon-orchestrate innate and adaptive mucosal immune responses / L. Ye, D. Schnepp, P. Staeheli // Nat. Rev. Immunol. 2019. Vol. 19. P. 614–625.
3. Increased sensitivity of SARS-CoV-2 to type III interferon in human intestinal epithelial cells / C. Metz-Zumaran [et al.] // J. Virol. 2022. Vol. 96. №7. Art. e010521.
4. The effect of recombinant human interferon alpha nasal drops to prevent COVID-19 pneumonia for medical staff in an epidemic area / Z. Meng [et al.] // Curr. Topics Med. Chem. 2021. Vol. 21. №10. P. 920–927.
5. A randomized clinical trial of the efficacy and safety of interferon β -1a in treatment of severe COVID-19 / E. Davoudi-Monfared [et al.] // Antimicrob. Agents Chemother. 2020. Vol. 64. №9. Art. e01061–20.
6. Considering personalized interferon beta therapy for COVID-19 / K. Dorgham [et al.] // Antimicrob. Agents Chemother. 2021. Vol. 65. №4. Art. e00065–21.
7. Л.Л. Роцина. Аптечный ассортимент препаратов группы интерферонов и индукторов интерферонов для профилактики и лечения инфекционных заболеваний / Л.Л. Роцина // Инновации. Наука. Образование. 2021. №29. С. 395–404.
8. А.И. Зинченко. Основы молекулярной биологии вирусов и антивирусной терапии: учеб. пособие / А.И. Зинченко, Д.А. Паруль. – Минск, 2005.
9. Interferon-inducer antivirals: Potential candidates to combat COVID-19 / A. Bagheri [et al.] // Int. Immunopharmacol. 2021. Vol. 91. Art. 107245.
10. G.N. Barber. STING: infection, inflammation and cancer / G.N. Barber // Nat. Rev. Immunol. 2015. Vol. 15, №12. P. 760–770.
11. Exploiting natural antiviral immunity for the control of pandemics: Lessons from Covid-19 / E. Arico [et al.] // Cytokine Growth Factor Rev. 2022. Vol. 63. P. 23–33.
12. STING-dependent cytosolic DNA sensing promotes radiation-induced type I interferon-dependent antitumor immunity in immunogenic tumors / L. Deng [et al.] // Immunity. 2014. Vol. 41. №5. P. 843–852.
13. Pharmacological activation of STING blocks SARS-CoV-2 infection / M. Li [et al.] // Sci. Immunol. 2021. Vol. 6. Art. eabi9007.
14. Enzymatic synthesis of 2'-ara and 2'-deoxy analogues of c-di-GMP / A.S. Shchokolova [et al.] // Nucleos. Nucleot. Nucl. Acids. 2015. Vol. 34. №6. P. 416–423.
15. М.А. Винтер. Гетерологичная экспрессия диаденилатцилазы в виде тельца включения, обладающих ферментативной активностью / М.А. Винтер, И.С. Казловский, А.И. Зинченко // Доклады Национальной академии наук Беларусь. 2022. Т. 66. №5. С. 509–516.

ВИРУСЫ СЕМЕЙСТВА *FILOVIRIDAE*



Анна Черных,
младший научный
сотрудник Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН
Беларусь; chernanna00@gmail.com



Андрей Гончаров,
директор Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН
Беларусь, кандидат
медицинских наук,
доцент; andrei.hancharou@gmail.com

Современная эпидемиологическая обстановка характеризуется распространением в ряде стран мира опасных инфекций. Так, вирусы семейства *Filoviridae* активно циркулируют на территории Африканского континента, Азии и некоторых стран Европы, вызывая тяжелые заболевания, характеризующиеся геморрагической лихорадкой с высокой процентной долей летальных исходов. С таковыми, сопровождающими значительным (до 90%) уровнем смертности, связаны вирус Марбург и эболавирусы Заир, Судан, Тай-Форест, Бундигио. Вследствие их способно-

Аннотация. Рассмотрены представители семейства *Filoviridae*, которые являются возбудителями смертельной для человека геморрагической лихорадки. Проанализировано современное состояние разработки иммунобиологических лекарственных средств для лечения и медицинской профилактики болезней, вызываемых филовирусами.

Ключевые слова: филовирусы, эболавирусы, структурные белки вируса, таксономия, вакцинация.

Для цитирования: Черных А., Гончаров А. Вирусы семейства *Filoviridae* // Наука и инновации. 2023. №2. С. 30–37.
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-30-37>

УДК 578.226

сти к передаче от человека к человеку и отсутствия одобренной вакцины или доступной противовирусной терапии MARV и EBOV классифицируются как патогенные биологические объекты 4 группы риска. Для работы с ними требуются максимальные условия защиты.

В последнее десятилетие вызывает опасение существенное увеличение частоты вспышек и эпидемий геморрагических лихорадок – Эбола, Ласса, Марбург и др. Последняя крупная эпидемия лихорадки Эбола показывает рост заболеваемости, сокращение интервалов между вспышками, нарастание опасности заноса инфекции из очага на ранее не эндемичные территории. Был выдвинут ряд рекомендаций по снижению риска передачи болезни, среди которых: уменьшение частоты контактов с потенциально инфицированными животными (летучие мыши и обезьяны), а также исключение употребления их сырого мяса в пищу.

Природная среда филовирусов до конца не изучена, однако по последним данным установлено, что в эндемический цикл вовлечены представители семейства рукокрылых, которые являются резервуаром и вектором передачи возбудителей. С развитием методов секвенирования, фрагменты геномов вирусов обнаруживаются среди представителей других животных, в частности свиней, кенгуру, зеленых мартышек и рыб.

Вспышки заболевания коррелируют с колебаниями популяций крыланов, периодами их размножения и расселения. Ареал их обитания постепенно расширяется, что ведет к распространению вируса на новых, не эндемичных территориях. Именно поэтому изучение молекулярно-генетической организации представителей этих вирусов, а также способов быстрой диагностики возбудителей является востребованным и актуальным.

Вирионы филовирусов имеют нитчатую структуру, что

Хронология обнаружения различных родов семейства *Filoviridae*

отображено в названии семейства (*filum* от лат. – «нить»), и представлены в различных морфологических конфигурациях: прямые, изогнутые, сферические. Средние размеры – 14x80 нм. Нуклеокапсид организован по типу спиральной симметрии и образует тяж, покрытый суперкапсидом с гликопротеиновыми шипами длиной 7–10 нм. Геном имеет размер 15–19 kb и представлен отрицательной цепью РНК, в состав которой входит 7 генов, отвечающих за продукцию необходимых для процессов репликации и трансляции белков. В зависимости от семейства наблюдаются различия в перекрытии генов [13].

Гликопротеин филовирусов относится к классу белков, проникающих через мембрану. В процессе репродукции в клетке он формируется из гликопротеина-предшественника (GP0). Транспорт данного белка в аппарат Гольджи приводит к преобразованию предшественника белка в две субъединицы (поверхностная GP1 и трансмембранныя GP2), которые остаются связанными дисульфидными связями (GP1,2), и триммеры гетеродимеров GP1-GP2 образуют шипики на оболочке вириона. За способность к проникновению внутрь эндосомы при условиях, благо-

приятных для формирования активной формы гликопротеина GP1,2, ответственна субъединица GP1 гликопротеина [8].

Гликопротеин как MARV, так и EBOV содержит N- и O-связанные углеводные цепи с различными сиалированными концевыми участками, которые зависят от штаммов вируса и клеточных линий, используемых для их распространения. Муциноподобный регион (МПР) имеет ряд потенциальных N- и O-связанных сайтов гликозилирования. Хотя МПР встречается в гликопротеинах всех представителей семейства, его сильно варьируемые аминокислотные последовательности и структура сахарной цепи реализуют различные свойства GP среди видов филовирусов. Известно, что удаление МПР не влияет на основную функцию проникновения вируса внутрь клетки *in vitro*, о чем свидетельствует наблюдение, что псевдотипизированные вирусы, несущие GP, но не имеющие МПР, заражают эпителиальные клетки приматов (например, клетки Vero E6) аналогично или, скорее, более эффективно, чем вирусы с GP дикого типа. Тем не менее МПР играет важную роль в проникновении филовируса в предпочтительные клетки-мишени, такие как гепатоциты, эндотелиаль-

ные и антигенпрезентирующие клетки [8].

Все вирусы в оболочке инициируют инфекцию, прикрепляясь к клеткам-хозяевам с последующим слиянием мембран посредством взаимодействия между вирусными поверхностными белками и рецепторными молекулами на клетках-мишениях, и это часто является ключевым детерминантом, контролирующим тропизм вирусной ткани.

Лектины С-типа представляют собой семейство Ca²⁺-зависимых углевод-распознающих белков, которые играют решающую роль во врожденном иммунитете. Было продемонстрировано, что они облегчают проникновение филовирусов в клетку путем связывания с гликанами.

Можно предположить, что филовирусы не используют один общий рецептор для заражения широкого спектра клеток и, в отличие от многих других вирусов, могут и не нуждаться в «специфическом» рецепторе [8]. Однако в литературе присутствуют сведения о необходимости и критичности для инфицирования человека трансмембранных белка Неймана-Пика (NPC1), локализуемого на апикальной мембране энteroцитов и канальцевой мембране гепатоцитов. При наличии мутаций

этого белка вирус либо плохо проникает в клетки, либо они становятся полностью к нему устойчивыми [1].

Геном вирусов

Вирусный геном кодирует 7 структурных белков, гены которых представлены в следующем порядке: нуклеопротеин (NP), кофактор РНК-зависимой РНК-полимеразы (выполняет роль антагониста интерферона (VP35)), матричный белок, который ассоциирован с внутренней поверхностью вирусной оболочки и участвует в сборке и почковании вирионов (VP40), гликопротеин, функция которого заключается в связывании с клеточными рецепторами и проникновении внутрь клетки (GP), белок инициации репликации-транскрипции (VP30), второстепенный матричный белок, принимающий участие в сборке нуклеокапсида, а также в регуляции транскрипции и трансляции (VP24), и РНК-зависимая РНК-полимераза, участвующая в процессах транскрипции и репликации генома, и в редактировании мРНК (L). EBOV также экспрессирует, по меньшей мере, один секрецируемый неструктурный гликопротеин (sGP) [14].

За присоединением вируса посредством взаимодействия между гликопротеином и некоторыми клеточными молекулами следует эндоцитоз, включая макропиноцитоз. Последующее слияние вирусной оболочки с эндосомальной мембраной клетки-хозяина высвобождает вирусные белки (то есть NP, VP35, VP30 и L) и геном РНК в цитоплазму – место, где проходит процесс репликации. Продуктом транскрипции РНК вирусным полимеразным комплексом



Генетическая карта генома филовирусов

(VP35 и L) является мРНК, которая транслируется в клеточных рибосомах. Впоследствии они служат шаблонами для репликации синтеза вирусной РНК. На плазматической мембране происходит сборка NP-инкапсидированных полноразмерных вирусных РНК, структурных белков, VP40 и GP. В результате формируются вирусные частицы, которые отпочковываются от мембраны клетки.

В настоящее время семейство *Filoviridae* включает в себя 8 родов.

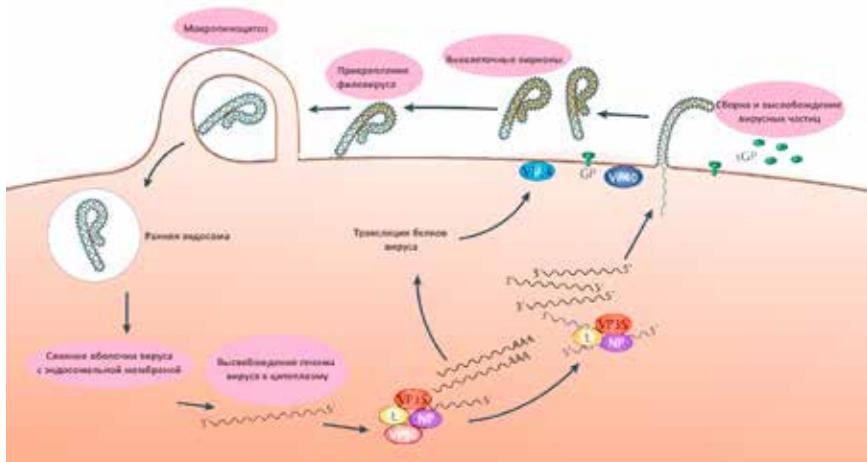
Эболавирусы

Этот род содержит 6 видов вирусов. Один из них – вирус Бомбали (BOMV) – был обнаружен недавно у некоторых видов летучих мышей (*Chaerephonoprumilus* и *Mops condylurus*) [9]. Предполагается, что летучие мыши являются естественными хозяевами вирусов Эбола (EBOV) и Рестон (RESTV). 5 эболавирусов (вирус Бандибутио (BDBV), EBOV, RESTV, вирус Судана (SUDV) и Тай-Форест (TAFV)) патогенны

для нечеловекообразных приматов. BDBV, EBOV и SUDV высоко-патогенны для человека. Известно только об одном случае заболевания человека вирусом TAFV, при этом инфекция хотя и протекала тяжело, но не привела к смерти пациента. Описан лишь один случай инфицирования человека вирусом RESTV с течением в стерильной форме. RESTV также был обнаружен у домашних свиней. По-видимому, он является эндемичным представителем в Юго-Восточной Азии; все остальные эболавирусы циркулируют в Африке.

Эболавирусы примечательны тем, что кодируют три различных белка из своих генов гликопротеина (GP).

В отличие от больших РНК-содержащих вирусов вирусный агент лихорадки Эбола характеризуется высокой генетической стабильностью, которая может быть обусловлена четырьмя основными факторами: низкой погрешностью специфического действия



Процесс репликации и образования новых вирионов филовирусов

РНК-полимеразы, достаточно медленной репликацией в природном резервуаре инфекции, ограниченном числе чувствительных природных хозяев и слабым иммунным давлением.

В настоящее время считают, что вирус Эбола Заир дивергировал от общего для филовирусов предка около 10 тыс. лет назад. Число нуклеотидных замен за год для различных представителей рода *Ebolavirus*, определенное при анализе 97 полноразмерных геномных последовательностей с применением методологии Bagesian, колеблется от $0,46 \cdot 10^{-4}$ (для вируса Эбола Судан) до $8,21 \cdot 10^{-4}$ (для вируса Эбола Рестон) [12].

Экстрагенные последовательности на крайнем 3'-конце (лидер) и 5'-конце (трейлер) генома являются консервативными и частично комплементарными. Гены окружены консервативными сайтами инициации и прекращения транскрипции (полиаденилирования). Большинство генов разделены неконсервативными межгенными последовательностями, но некоторые гены перекрываются. Подавляющее количество из этих перекрытий чрезвычайно короткие и ограничены высококонсервативным пентамером. Кроме того, большинство генов обладают относительно длинными 3'- и 5'- некодирующими участками. Подобно куэвавирусам, но в отличие от дланловирусов и марбургвирусов, гены гликопroteина эболавирусов обладают тремя перекрывающимися открытыми рамками считывания, которые могут быть соединены посредством совместного транскрипционного полимерного «заикания».

Марбургвирусы

Род включает в себя один вид *Marburg marburgvirus*, высоко-

патогенный для человека. В литературе присутствуют сведения о вирусе RAVN, входящем в этот род, однако он является идентичным марбургвирусу.

Для вируса Марбург характерен полиморфизм. Вирионы имеют нитевидную форму, но частицы также могут быть разветвленными, круглыми, U-образными или 6-образными. Сферические формы встречаются редко или вообще отсутствуют. Вирионы сильно различаются по длине (800–14 000 нм), но имеют равномерный диаметр около 80 нм.

Вирион состоит из центрального рибонуклеопротеидного кора, связанного двумя матричными белками: VP40 и VP24, а также гликопротеиннесущего двойного липидного слоя, полученного из клетки человека. Марбургвирусы примечательны тем, что кодируют только один гликопротеин (GP1,2) из своих генов GP. Рибонуклеопротеин состоит из молекулы геномной РНК и капсидирующих ее нуклеопротеинов – NP и VP30. Два других белка (VP35 и РНК-зависимая РНК-полимераза, или L-белок) связываются с NP, образуя комплекс репликации вируса [15].

Гликопротеин – единственный поверхностный белок вириона. Один из его участков схож по структуре и свойствам с фрагментами белков вирусов иммунодефицита человека и животных. Внутренний белок VP40 – один из основных в вирионе (преобладает по количественному содержанию в сравнении с остальными). Он, по всей видимости, выстилает внутреннюю поверхность липидной мембраны и связан с ней и одновременно является наружным белком нуклеокапсида – вирусного ядра. Внутренний белок VP24 также связан с липидной мембраной. Функция

его неизвестна, но, по последним данным, он может играть роль в процессе «раздевания» вируса при его проникновении в клетку. Белок NP имеет ярко выраженный положительный заряд и в вирионе непосредственно связан с РНК. Установлено, что взаимодействие нуклеопротеина с матричным белком VP40 важно для транспортировки РНК на поверхность клетки и для включения РНК в вирионы, что приводит к образованию зрелых вирусных частиц.

Куэвавирусы

Новый филовирус, названный вирусом Ллови (LLOV), был найден в 2002 г. во время исследования причин смерти рукокрылых *Miniopterus schreibersii* в Кузэва-дель-Льови на юге Европы. В дальнейшем фрагменты РНК-вируса Ллови были обнаружены в погибших летучих мышах, ареал которых находится в Океании, Южной Африке, Юго-Восточной Азии и на юге Европы (Испания, Португалия, Франция). LLOV генетически отличается от других марбургвирусов и эболавирусов и является первым филовирусом, обнаруженным в Европе, который не был завезен из эндемичной области в Африке [13].

В настоящее время вирус Ллови – единственный классифицированный представитель данного рода, вирусы которого отличаются геномами, экспрессирующими комплекс, связанный с рибонуклеопротеином (белок (VP24) и большой белок (L)) из бицистронной мРНК, а не из отдельных транскриптов.

Фрагменты РНК-вируса Ллови были выделены из погибших летучих мышей, при вскрытии которых анатомический и микробиологический анализ указал на ряд признаков (инфилтраты в легких,

лимфоцитарные и лимфоидные фолликулы в селезенке), характерных для перенесенной вирусной инфекции. Выделенная нуклеиновая кислота была проанализирована в обратно-транскриптазной полимеразной цепной реакции (ОТ-ПЦР) с праймерами, специфичными по отношению к лисса-, парамиксо-, хенипа-, корона-, герпес- и филовирусам. В пробах от 5 животных обнаружены последовательности РНК, характерные для филовирусов.

В 2022 г. установлено, что вирус Ллови способен заражать клетки человека и успешно в них реплицироваться, так как имеет необходимый для проникновения рецептор – белок Неймана–Пика [4]. Данный факт может свидетельствовать о патогенном профиле для животных и человека и необходимости дальнейшего изучения данного вируса.

Дианловирус

Вирус Менгла (MLAV), обнаруженный в 2015 г., – единственный классифицированный дианловирус. Представители данного рода были идентифицированы у летучей мыши *Rousettus* в уезде Менгла (провинция Юньнань, Китай). Его геномы очень напоминают по организации геномы марбургвирусов, но содержат 4 перекрывающихся гена, а не один. Анализ полногеномной нуклеотидной последовательности вируса Менгла показал, что она на 32–54% идентична другим представителям филовирусов. MLAV несет на своей поверхности белок, структурно сходный с другими филовирусами, которые могут инфицировать млекопитающих. Его проникновению в клетку способствует белок Неймана – Пика, что говорит о возможности заражения клеток людей, обезьян, собак, хомяков и летучих мышей, что также под-

тверждает необходимость дальнейшего изучения и мониторинга данного вируса [11].

Стриавирусы

Вирус Ксилонг (XILV) – единственный классифицированный стриавирус. Подобно тамновирусам, но в отличие от куэвавируса, дианловируса, эболавируса и марбургвируса, стриавирусы, по-видимому, заражают рыб. Примечательно, что их геномы содержат 9 перекрывающихся генов, кодирующих минимум 3 белка без явных гомологов среди других родов филовирусов, и не кодируют белок, ассоциированный с комплексом рибонуклеопротеина (VP24).

Тамновирусы

Род включает в себя 1 установленный вирус и 2 вируса-кандидата: Хуанцяо (HUJV), Фиви (FIVIV) и вирус Кандера (KNDV). Как и стриавирусы, они также заражают рыб. Геномы тамновируса кодируют по крайней мере один белок, не имеющий явных гомологов в других родах филовирусов, и не кодируют белок матрикса (VP40) или белок, ассоциированный с комплексом рибонуклеопротеина (RNP) (VP24). Впервые HUJV был обнаружен в 2011 г. путем высокопроизводительного секвенирования образцов, взятых из представителя рода Тамнаконов (*Thamnaconus septentrionalis*), пойманного в Восточно-Китайском море. FIVIV и KNDV были обнаружены в 2021 г. у европейского окуня (*Perca fluviatilis Linnaeus, 1758*) в Швейцарии.

Облавирусы

По данным международного комитета о таксономии вирусов (ICTV), в 2021 г. был обнаружен и предоставлен на рассмотрение *Oblavirus percae* – представитель нового рода облавирусов. Данный вид выявлен у европейского

окуня в Швейцарии с помощью высокопроизводительного секвенирования и биоинформационного анализа.

Тапиовирусы

Единственным кандидатом на принадлежность к новому роду тапиовирусов является TAPV, который обнаружили у кайсака *Bothrops atrox* в Бразилии в 2021 г. путем биоинформационного анализа.

Методы диагностики

Дифференциальная диагностика филовирусных инфекций может быть сложной задачей из-за неспецифических симптомов, наблюдаемых у пациентов на ранних стадиях болезни. Ее можно принять за другие инфекционные заболевания, которые распространены во многих районах Африки к югу от Сахары. Таким образом, ранняя и точная диагностика имеет важное значение для предотвращения распространения болезни.

Диагностические методы, включая определение специфических антител, масс-спектрометрия и секвенирование следующего поколения постоянно находятся в стадии разработки и совершенствования. Анализы с использованием полимеразной цепной реакции (ПЦР) стали основой для детекции филовирусов. Во многих случаях ОТ-ПЦР в режиме реального времени позволяет легко и быстро выявлять их в течение 2 часов [7].

Из-за необходимости быстрой и доступной диагностики филовирусной болезни повышенное внимание уделялось проведению лабораторной диагностики на местах. Так, использование одноэтапного метода ОТ-ПЦР позволило значительно ускорить обнаружение филовирусов,

а также минимизировать дополнительные манипуляции.

Одной из основных проблем при разработке эффективной молекулярной диагностики РНК-вирусов является их значительная генетическая изменчивость. Для решения данной проблемы был применен метод ОТ-ПЦР с использованием коктейля специфических праймеров, полученных для наиболее консервативных регионов гена L. Эффективность метода проверена с использованием всех штаммов филовируса, известных в то время. Анализ имел дополнительную ценность, заключающуюся в получении достаточно длинного ампликона (640-нуклеотидный продукт, включающий последовательность праймера), который в дальнейшем был секвенирован для автоматизированного филогенетического анализа, что позволило установить родственные связи вновь идентифицированных образцов филовируса относительно существующих видов или штаммов [6].

Аналогичным образом в 2011 г. был разработан универсальный анализ для определения геномных РНК всех известных видов MARV и EBOV при помощи ОТ-ПЦР и праймеров, специфичных для гена вирусных нуклеопротеинов; однако детекция результатов предполагала использование электрофореза в геле, в отличие от ПЦР в реальном времени [6].

Хотя анализы ОТ-ПЦР являются высокочувствительными, быстрыми и точными и стали первым выбором диагностического метода для обнаружения филовирусов, они требуют высокоточных термоциклеров или аппаратов ПЦР в режиме реального времени.

На территории Республики Беларусь была разработана диагно-

стическая тест-система для идентификации возбудителей природно-очаговых, арбовирусных и особо опасных вирусных инфекций методом обратной транскрипции полимеразной цепной реакции «Белар – Буниа – Флави – Фило – Арене – ПЦР». В ее основу вошли результаты исследований на основе специфических олигонуклеотидов (праймеров), комплементарных участкам геномов возбудителей опасных и особо опасных вирусных инфекций, и фланкирующих фрагментов геномов, содержащих диагностически значимые участки генов бунья-, арене-, флави- и филовирусов. Данный метод подтвердил диагностическую специфичность (99%) тест-системы. На модели геморрагической лихорадки Эбола разработана схема лабораторной диагностики, позволяющая при исследовании материала выявлять варианты вирусов и распознавать их [14].

При идентификации представителей рода *Ebolavirus*, выделенных в ходе эпидемических вспышек, весьма большое значение имеет проведение генотипирования. Поскольку наиболее эффективные средства экстренной профилактики и лечения (моноклональные антитела к гликопротеину вируса Эбола Заир и малые интерферирующие РНК) имеют строго дифференциированную направленность, генотипирование играет определяющую роль при разработке стратегии проведения последующих противоэпидемических мероприятий [12].

Таким образом, развитие быстрых и эффективных методов диагностики для предотвращения распространения заболевания из возникших очагов является перспективным научным направлением. Своевременная идентификация вирусов в диких животных-переносчиках поможет снизить

риски возникновения вспышек на неэндемичных территориях.

Методы лечения

Исследования, направленные на создание терапевтических средств, эффективных после проявления клинических признаков заболевания, проводились еще до крупнейшей из зарегистрированных вспышки лихорадки Эбола в Западной Африке в 2014 г. На современном этапе одним из основных методов лечения филовирусной инфекции является использование моноклональных антител против гликопротеина оболочки вируса. Такое связывание ускоряет обнаружение и увеличивает шансы на успешное уничтожение вирусных частиц клетками иммунной системы.

В 2022 г. ВОЗ выпустила рекомендации о применении двух эффективных препаратов на основе моноклональных антител – mAb114 (ансувимаб; эбанга) и REGN-EB3 (инмазеб) [10]. Экспериментальный препарат, состоящий из трех моноклональных антител против гликопротеина вируса Эболы, под названием ZMapp, не доказал свою эффективность.

REGN-EB3 представляет собой комбинацию трех полностью человеческих моноклональных антител – атолтивимаба (REGN3470), мафтивимаба (REGN3479) и одесивимаба (REGN3471), которые нацелены на гликопротеин вируса Эбола. REGN-EB3 получил первое одобрение 14 октября 2020 г. для лечения заирской эболавирусной инфекции у взрослых и детей в США [5]. В свою очередь, mAb114 представляет собой полностью человеческое моноклональное антитело, которое связывается с рецепторсвязывающим

доменом гликопротеина и предотвращает взаимодействие GP-вируса с рецептором NPC1, тем самым блокируя проникновение первого в цитоплазму клетки-хозяина [2].

Еще одно перспективное терапевтическое средство против инфекций MARV и EBOV представлено в виде нового класса положительно заряженных фосфородиамидных морфолино-олигомеров (PMO) под названием PMOplus. Стабильные молекулы PMO напоминают одноцепочечную ДНК и образуют дуплексы со специфическими последовательностями целевой РНК, тем самым мешая трансляции мРНК и негативно влияя на транскрипцию и трансляцию вирусной РНК.

Другая стратегия терапии инфекции – использование антисмысловой РНК, связывание которой с РНК вируса при транскрипции вызывает его разрушение. Таким препаратом является Tekmira Pharmaceuticals. ТКМ-Эбола представляет собой комбинацию трех молекул миРНК, предназначенных для блокирования производства VP24, VP35 и РНК-зависимой РНК-полимеразы в инфицированных EBOV клетках [7].

Медицинская профилактика

13 препаратов-кандидатов на вакцину EBOV были испытаны на людях, 5 из них после фазы I. К наиболее передовым вакцинам в Соединенных Штатах и Европе относят Ervebo (rVSV-EBOV), Zabdeno/Mvabea (Ad26-ZEBOV/MVA-BN-Filo) и cAd3-EBOZ. Все 3 вакцины используют вирусный вектор или модифицированную версию безвредного суррогатного вируса, чтобы спровоцировать иммунный ответ [9].

Первая, rVSV-EBOV, представляет собой рекомбинантную вакцину на основе вируса везикулярного стоматита, экспрессирующую поверхностный гликопротеин вируса Эбола. Она инициирует появление в организме антигена вируса, к которому образуются антитела. Следует отметить, что, хотя эти вакцины описаны как результативные после введения вируса, нет сообщений об успешной защите после того, как проявились клинические признаки заболевания. Были проведены исследования действенности вакцин только через 30 мин после парентерального воздействия вируса. Клинические испытания платформы VSV на людях начались осенью 2014 г. [3]. В 2015 г. вакцина успешно прошла III фазу клинических испытаний в Гвинее, доказав свою эффективность и безопасность.

Вакцина Zabdeno/Mvabea использует как технологию AdVac, так и технологию MVA-BN и вводится в 2 дозах: сначала – Забдено (Ad.26.ZEBOV), а через 2 месяца – Мвабеа (MVA-BN-Filo). Следовательно, этот режим не подходит для быстрого реагирования в условиях вспышки заболевания, когда необходима немедленная защита. Компонент Zabdeno получен из аденоовирусного серотипа 26 (Ad26) и экспрессирует гликопротеин эболавируса вместо гена, обеспечивающего репликацию аденоовируса. Компонент Mvabea состоит из модифицированного вируса *Vaccinia Ankara* (MVA), кодирующего гликопротеин из EBOV, SUDV и MARV, и нуклеопротеин TAFV. Такая поливалентная филовирусная вакцина, нацеленная на несколько видов эболавирусов, оптимальна для профилактического введения.

Хотя эффективность защиты против MARV и других видов

эболавирусов еще не была продемонстрирована, доклинические исследования показывают, что иммунизация Zabdeno/Mvabea обеспечила полную защиту нечеловекообразных приматов от последствий заболевания EBOV. Клинические испытания I–III фазы показали, что Забден/Мвабеа безопасен и вызывает сильный иммунный ответ наряду с ответами CD4+ и CD8+ Т-клеток.

Вакцина cAd3-EBOZ/MVA-BN-Filo была разработана NIAID/NIH в сотрудничестве с Okairos. Принцип ее введения аналогичен Zabdeno/Mvabea, однако первая доза состоит из ослабленного аденоовируса шимпанзе (cAd3). Необязательный гетерологичный бустер мультивалентного Mvabea вводится в качестве последующей дозы. Клинические испытания фазы I–II доказали, что вакцина хорошо переносится, безопасна и иммуногенна. Особенно сильные гуморальные реакции были отмечены у вакцин после бустера Mvabea. Через 4 недели после иммунизации только вакциной CAd3 ответы GP-специфических антител были немного ниже, но аналогичны тем, которые индуцировались Эрвебо. Последующая доза Mvabea стимулировала реакцию анамнестических антител и CD4/CD8 Т-клеток, предполагая, что этот бустер может еще больше повысить защиту и продолжительность иммунитета [9].

Хотя в разработке вакцин против EBOV был достигнут существенный прогресс, многие вопросы остаются без ответа. Например, самые современные препараты предназначены исключительно для защиты от одного вида эболавируса – EBOV, и ни в одном исследовании конкретно не оценивалась эффективность иммунных реакций в отно-

шении других видов эболавирусов (например, SUDV, BDBV, TAFV). Приоритетным направлением в будущем должна стать разработка вакцин, обеспечивающих защиту от всех значимых и патогенных для человека представителей семейства филовирусов, с учетом того, что среди них могут также возникать внутривидовые мутации, влияющие на эффективность вакцины.

Семейство *Filoviridae* состоит из 8 родов, включающих в себя большое число представителей, патогенных для человека и животных. С развитием современных методов секвенирования, позволяющих детектировать новые виды, предполагается, что в ближайшее время данный перечень будет существенно расширен. По имеющимся литературным данным, основные переносчики вируса – рукокрылые, однако последние исследования обнаружили молекулярные фрагменты вирусов семейства и в других животных, таких как рыбы, свиньи, кенгуру и др.

Глобальное потепление приводит к увеличению ареала обитания летучих мышей, что может стать причиной распространения инфекций, вызванных филовирусами, за пределы Африки и Азии. Известны только 2 представителя рода, патогенные для человека: Марбургвирус и Эболавирус. Последний включает в себя наиболее опасные варианты Заир, Судан, Тай-Форест и Бундигутио. Вирус Менгла и вирус Ллови имеют те же молекулярные механизмы проникновения в клетку, что и представители предыдущих двух родов, и способны к инфицированию клеток млекопитающих. В 2022 г. установлено, что вирус Ллови с успехом проникает в клетки человека и реплицируется там.

Ввиду высокой заразности и летальности филовирусы являются одними из возможных патогенных биологических агентов для использования в качестве биологического оружия.

Биологическая опасность, а также увеличение ареала обитания переносчиков высокозаразных летальных заболеваний приводит к необходимости усовершенствования методов быстрой диагностики филовирусов для их определения на уровне семейства или родов.

Разработаны экспериментальные методы терапии вирус-

ных заболеваний на основе моноклональных антител, которые показывают положительные результаты и находятся на стадии клинических испытаний. Разработка вакцин – важнейшее стратегическое направление, нацеленное на предотвращение распространения вирусов. В настоящее время существуют три вакцины против лихорадки Эбола, которые находятся на заключительной стадии разработки и уже демонстрируют безопасность и эффективность. ■

■ **Summary.** The article considers representatives of the *Filoviridae* family, some of which are the causative agents of hemorrhagic fever, which is fatal to humans. The current state of development of immunobiological drugs for the treatment and medical prevention of diseases caused by filoviruses has been analyzed.

■ **Keywords:** filoviruses, ebolaviruses, structural proteins of the virus, taxonomy, vaccination.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-30-37>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. J.E. Carette et al. Ebola virus entry requires the cholesterol transporter Niemann–Pick C1 // *Nature*. 2011. Vol. 477, №7364. P. 340–343.
2. M.R. Gaudinski [et al.]. Safety, tolerability, pharmacokinetics, and immunogenicity of the therapeutic monoclonal antibody mAb114 targeting Ebola virus glycoprotein (VRC 608): an open-label phase 1 study // *The Lancet*. 2019. Vol. 393, №10174. P. 889–898.
3. A.M. Henao-Restrepo [et al.]. Efficacy and effectiveness of an rVSV-vectored vaccine in preventing Ebola virus disease: final results from the Guinea ring vaccination, open-label, cluster-randomised trial (Ebola Çà Suffit!) // *The Lancet*. 2017. Vol. 389, №10068. P. 505–518.
4. G. Kemenesi [et al.]. Isolation of infectious Lloviu virus from Schreiber's bats in Hungary // *Nat Commun*. 2022. Vol. 13, №1. P. 5246.
5. A. Markham. REGN-EB3: First Approval // *Drugs*. 2021. Vol. 81, №1. P. 175–178.
6. H. Ogawa [et al.]. Detection of all known filovirus species by reverse transcription–polymerase chain reaction using a primer set specific for the viral nucleoprotein gene // *Journal of Virological Methods*. 2011. Vol. 171, №1. P. 310–313.
7. A.C. Shurtleff [et al.]. Pre-symptomatic diagnosis and treatment of filovirus diseases // *Front. Microbiol*. 2015. Vol. 6. P. 1–12.
8. A. Takada. Filovirus Tropism: Cellular Molecules for Viral Entry // *Front. Microbiol*. 2012. Vol. 3. P. 1–8.
9. C. Woolsey, T.W. Geisbert. Current state of Ebola virus vaccines: A snapshot // *PLoS Pathog*. 2021. Vol. 17, №12.
10. World Health Organization. Therapeutics for Ebola virus disease, 19 August 2022 / World Health Organization.– Geneva: World Health Organization, 2022.
11. X.L. Yang [et al.]. Characterization of a filovirus (Mènglà virus) from *Rousettus* bats in China // *Nat Microbiol*. 2019. Vol. 4, №3. P. 390–395.
12. A. A. Петров и др. Молекулярно-генетические особенности строения генома представителей рода *Ebolavirus* // Проблемы особо опасных инфекций. 2015. №3. С. 77–82.
13. А.М. Поршаков, Ю.В. Кононова, Т.М. Лыонг. Филовирусы Юго-Восточной Азии, Китая и Европы // Журнал инфекологии. 2019. Т. 11, №2. С. 5–13.
14. Рустамова Л.М. Разработка средств диагностики и профилактики особо опасных вирусных инфекций в Республике Беларусь / Л.М. Рустамова, Л.П. Родионова, С.Ф. Семенов и др. // Сборник научных трудов Междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье и окружающая среда» (Минск, 28 октября 2016 г.). Санитарно-эпидемиологическая служба Республики Беларусь.– Минск, 2016.
15. С.И. Сыромятникова, А.П. Пирожков. Геморрагическая лихорадка Марбург // Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение. 2015. №1 С. 45–49.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023 г.

Натуральная оспа и оспа обезьян: характеристика вирусо-возбудителей и меры противодействия

К: 578.7+616.912



Аннотация. В данной статье рассмотрена одна из наиболее опасных и актуальных биологических угроз – поксвирусы, возбудители натуральной оспы и оспы обезьян. Авторами изложены общая характеристика, исторические аспекты заболеваний, вызываемых поксвирусами, вакцинопрофилактика и возможности специфического лечения.

Ключевые слова: поксвирусы, натуральная оспа, оспа обезьян.

Для цитирования: Бобрукевич Д., Гончаров А., Антоневич Н., Богдан В. Натуральная оспа и оспа обезьян: характеристика вирусо-возбудителей и меры противодействия // Наука и инновации. 2023. №2. С. 38–42. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-38-42>

Дарья Бобрукевич,
младший научный сотрудник лаборатории иммунологии и клеточной биофизики Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь;
bobrukevich.darya@gmail.com

Андрей Гончаров,
директор Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь,
кандидат медицинских наук, доцент;
andrei.hancharou@gmail.com

Наталья Антоневич,
заведующая лабораторией иммунологии и клеточной биофизики Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь,
кандидат биологических наук;
antonevich.n@gmail.com

Василий Богдан,
академик-секретарь Отделения медицинских наук НАН Беларусь,
доктор медицинских наук, профессор;
bogdan-5@mail.ru

Общая характеристика семейства

Вирусы, вызывающие натуральную оспу и оспу обезьян, принадлежат к большому и разнообразному семейству *Poxviridae*, подсемейству *Chordopoxvirinae*, роду *Orthopoxvirus*. Это двухцепочечные ДНК-вирусы, которые размножаются в цитоплазме инфицированных клеток. Известно, что поксвирусы имеют полигональную или овальную структуру размером 200–400 нм, а ортопоксвирусы – большой и сложный протеом, содержащий более 200 белков. Во время инфекции вирус существует в двух антигенно различных формах, представленных внутриклеточными зрелыми вирионами (MV) или внеклеточными оболочечными вирусами (EV). Основной инфекционной частицей поксвирусов является MV, который состоит из нуклеопротеинового ядра, содержащего геном и систему ранней транскрипции, окруженного боковыми тельцами и покрытого липопротеиновой оболочкой.

По данным Международного комитета по таксономии вирусов (ICTV), род *Orthopoxvirus* насчитывает 12 видов:

- аbatimо вирус (*Abatino macacarox virus*);
- акмета вирус (*Akhmeta virus*);
- вирус оспы верблюдов (*Camelpox virus*, CMLV);
- вирус оспы коров (*Cowpox virus*, CPXV);
- вирус эктромелии (*Ectromelia virus*, ECTV);
- вирус оспы обезьян (*Monkeypox virus*, MPXV);
- вирус оспы енота (*Raccoonpox virus*, RACV);
- вирус оспы скунса (*Skunkpox virus*);
- вирус африканских гололапых песчанок (татер) (*Taterapox virus*, TATV);
- вирус осповакцины (*Vaccinia virus*, VACV);
- вирус натуральной оспы (*Variola virus*, VARV);

– вирус оспы калифорнийской полевки (*Volepoxy virus, VPXV*).

Интерес для клинической медицины представляют преимущественно 2 вируса: VARV и MPXV.

Вирус натуральной оспы

VARV – оболочечный вирус (200–250 нм) с двухцепочечной геномной ДНК размером приблизительно 186 тыс. п.н. Его репликация происходит в цитоплазме клетки-хозяина, где продуцируются внутриклеточные зрелые и внеклеточные оболочечные вирионы. Вирус оспы высокоспецифичен для человека и практически непатогенен для животных, хотя показано, что в лабораторных условиях обезьяны и грызуны могут быть инфицированы при воздействии чрезвычайно высоких доз.

В настоящее время считается, что вирусы VARV, CMLV и TATV происходят от единого предшественника, при этом дивергенция эволюционных линий имела место около 3400 лет назад.

Существует 2 геноварианта VARV: классическая оспа (*Variola major*) и аластрим (*Variola minor*). Первая характеризуется 10–12-дневным инкубационным периодом, после которого появляются продромальные симптомы, включающие высокую температуру, боль в спине, недомогание. В период эруптивной стадии наблюдается макуло-папулезная сыпь, которая прогрессирует в папулы, затем в везикулы, а затем в пустулы и струпья. Смертность от оспы составляет примерно 30%. *Variola minor* характеризуется такими же симптомами, но в более легкой форме с менее интенсивной сыпью и летальностью около 1%.

Исторические аспекты заболевания

Оспа была эндемичной по всему миру более 3 тыс. лет и считается одной из самых разрушительных болезней. К примеру, в Европе в течение XVIII в. от нее умирало 200–600 тыс. человек ежегодно. Распространение оспы было в значительной степени связано с глобальным ростом населения и перемещением людей по регионам и континентам. В течение долгого времени «вариоляция» – инокуляция инфицированных тканей – была единственным способом предотвратить заболевание, при этом летальность после такой прививки составляла около 1%. Разработка в XIX в. более эффективных протоколов вакцинации способствовала постепенному снижению распространения оспы. В начале XX в. она все еще была эндемичной во многих странах. Ситуа-

ция благоприятно изменилась после Второй мировой войны и последовавшего за ней решительного намерения ВОЗ в 1959 г. начать программу ликвидации заболевания. Применение стратегического плана действий ВОЗ, Интенсивной программы ликвидации оспы (1967–1980 гг.) привело к тому, что уже в 1979 г. было официально объявлено о ее полном искоренении.

Биологическая опасность и биотerrorизм

Ввиду высокой летальности от натуральной оспы и отсутствия вакцинации с начала 80-х гг. прошлого века вирус представляет высокую опасность при применении в качестве биологического оружия.

Считается, что возбудитель натуральной оспы в настоящее время хранится лишь в лабораториях ГНЦ ВБ «Вектор» (Россия) и Центрах по контролю и профилактике заболеваний (США). Потенциальная опасность имеющихся запасов иллюстрируется несчастным случаем, произошедшим в Бирмингеме (Великобритания) в 1978 г.: у двух человек, работавших поблизости от «лаборатории повышенной секретности», развилась оспа, и один из них умер. Также получили широкую огласку случаи с «забытыми» образцами вируса натуральной оспы в лабораториях института здравоохранения в Мэриленде (2014 г.) и компании Merck (2021 г.). Остается лишь предполагать, сколько образцов, в том числе других опасных вирусов, осталось по всему миру и как они могут быть использованы.

Серьезную угрозу может представлять также выявление и распространение новых поксвирусов, патогенных для человека, а также изменчивость известных представителей семейства, которые могут в благоприятных условиях муттировать и преодолевать межвидовые барьеры.

Вирус оспы обезьян (MPXV)

Вирус оспы обезьян относится к семейству поксвирусов и генетически схож с вирусом натуральной оспы. Обладая теми же морфологическими характеристиками, что и другие ортопоксвирусы, вирионы представляют собой частицы оvoidной или кирпичной формы. MPXV – один из самых крупных и сложных вирусов животных длиной от 200 до 250 нм, состоящий из 4 основных компонентов: ядра, боковых тел, наружной мембранны и внешней липопротеиновой оболочки. Вирионы окружены геометрически гофрированной липопротеиновой наружной

мембраной, ядро описывается как двояковогнутое и содержит большой двухцепочечный геном ДНК с боковыми телами на каждой стороне. Геном MPXV составляет примерно 197 тыс. п.н. и кодирует 200 белков. Хотя MPXV является ДНК-содержащим вирусом, весь его жизненный цикл протекает в цитоплазме инфицированных клеток.

Выделяют 2 геноварианта вируса: центральноафриканский и западноафриканский. Основные носители – грызуны, однако могут заражаться и другие млекопитающие, в том числе приматы, а также человек.

Клиническая картина, эпидемиология

Вирус оспы обезьян был выделен в 1958 г. в Дании у приматов, а первый случай заражения им человека зарегистрирован лишь в 1970 г. Это заболевание в основном распространяется среди животных и гораздо менее опасно для людей. Каждый год оно выявляется в странах Африки, в Европе и Северной Америке встречается редко. До мая 2022 г. последняя крупная вспышка болезни произошла в 2003 г. в США, заболел 71 человек.

С начала 2022 г. ВОЗ получила уведомления о более чем 83 тыс. подтвержденных случаях оспы обезьян из 92 государств, что вызывает серьезное беспокойство. В текущем году в ранее затронутых вирусом странах уже зарегистрировано 264 смерти.

Оспа обезьян была объявлена чрезвычайной ситуацией в области общественного здравоохранения в США 4 августа 2022 г. В то же время Всемирная организация здравоохранения оценила на глобальном уровне риск ее распространения как умеренный. По мнению экспертов ВОЗ, Центров по контролю и профилактике заболеваний США, Европейского центра профилактики и контроля заболеваний, MPXV вряд ли приведет к новой пандемии. Несмотря на это, текущая ситуация вызывает озабоченность в связи с вероятностью того, что вирус может занять экологическую и иммунологическую нишу, освобожденную вирусом натуральной оспы.

Инкубационный период у MPXV составляет от 5 до 21 суток, что способствует распространению болезни как контактным, так и воздушно-капельным путем, причем последний, по всей видимости, не играет большой роли в эпидемическом процессе. Значительная часть заболевших в текущую вспышку инфекции являются гомосексуалистами.

Тяжесть протекания оспы обезьян обусловлена путем заражения, штаммом и дозой вируса, а также

исходным состоянием здоровья пациента. Считается, что из двух вирусных ветвей более тяжелые проявления у вируса из клада бассейна Конго, чем у Западноафриканского.

Клинические проявления MPXV сходны с таковыми при натуральной оспе, но менее выражены и включают характерную сыпь, которой предшествуют легкие проромальные симптомы (лихорадка, недомогание, головная боль, лимфаденопатия). Случаи болезни при текущей эпидемии характеризуются сыпью, начинающейся в генитальной и перианальной областях с распространением или без него на другие части тела. Симптомы обычно делятся 2–4 недели, а уровень смертности исторически колебался от 0 до 11%. Идентификация вирусной ДНК в мазках, взятых из корок везикул или язв, представляет собой предпочтительную стратегию диагностики активных случаев оспы обезьян.

Вакцинация против натуральной оспы не проводится на регулярной основе с конца 70-х – начала 80-х гг. прошлого века. В настоящее время вакцинацию выполняют в ограниченном количестве среди представителей воинского контингента (в том числе находящихся в определенных регионах Африки), работникам лабораторий и другим специалистам с высоким риском заболевания. В мире доступны вакцины на основе живого вируса коровьей оспы и живого ослабленного модифицированного вируса осповакцины, которые производятся в небольшом количестве.

Классификация вакцин против оспы

В XX в. разработано несколько вакцин первого поколения на основе штаммов вирусов коровьей оспы с различными биологическими свойствами. Состоящие из живого неаттенуированного вируса осповакцины, они выращивались на коже живых животных. Сегодня такие способы не используются. Вакцины второго поколения производятся из вируса, выращенного в хориоаллантоисной мембране или культуре клеток, что позволяет производить вакцину в стерильной среде. В настоящее время доступны живые вакцины АКАМ2000 и Aventis Pasteur (APSV), способные к репликации. Поскольку содержащийся в них живой вирус реплицируется в клетках человека, он вызывает постvakцинальные реакции и даже осложнения.

На сегодняшний день для профилактики оспы и оспы обезьян в качестве вакцин третьего поколения одобрены Vaccinia Ankara-Bavarian Nordic (MVA-BN) и LC16. Они основаны на аттенуирован-

ных вирусах коровьей оспы, которые гораздо менее вирулентны и имеют меньше побочных эффектов. MVA-BN подходит для использования у лиц с иммунодефицитами, которым противопоказаны реплицирующие вакцины. Это единственная нереплицирующая вакцина, одобренная в Европе для взрослого населения. Препарат вводится в виде инъекций. Хотя вирус MVA-BN сильно ослаблен и, таким образом, не способен к репликации в организме, он все же в состоянии вызывать мощный иммунный ответ, но без постvakцинальных осложнений, характерных для традиционных вакцин против оспы. При введении вакцины до того, как произошло заражение, ее эффективность составляет около 100%, и значительная защита может сохраняться до 15–20 лет.

LC16 представляет собой полученную на культуре клеток реплицирующую лиофилизированную вакцину против оспы и оспы обезьян 3-го поколения, содержащую живой аттенуированный вирус коровьей оспы. И хотя высказывались опасения по поводу ее эффективности, данные показывают, что гуморальный ответ, развивающийся после вакцинации, способен нейтрализовать внеклеточные вирионы, хотя и с меньшей эффективностью, чем антитела, генерируемые после обычной вакцинации против оспы.

В дополнение к живым аттенуированным вакцинам были предприняты усилия по разработке новых субъединичных вакцин против ортопоксвирусов четвертого поколения, содержащих несколько вирусных антигенов в виде белков.

Постvakцинальный иммунитет – защита от MPXV

Различные виды ортопоксвирусов имеют много общих генетических и антигенных особенностей, и инфицирование ими может обеспечить существенную защиту от заражения другими представителями этого рода в дальнейшем. Так, известно, что вакцинация против натуральной оспы защищает от заболеваний, вызванных VARV, MPXV или CPXV.

Однако на сегодняшний день не изучен вопрос о стойкости и продолжительности вакцинного иммунитета к натуральной оспе при отсутствии реинфекции в течение длительного периода. Такие сведения весьма актуальны по причине прекращения вакцинации более 40 лет назад.

Имеющихся данных недостаточно для оценки состояния популяционного иммунитета и принятия решений о целесообразности масштабной вакцинации.

Согласно некоторым публикациям, продолжительность защитного иммунитета против VARV варьирует от 3 до 5 лет. Другая группа ученых наблюдала высокие показатели серопозитивности среди вакцинированной части населения Центральной и Западной Африки (80–96%), что свидетельствует о длительном постvakцинальном иммунном ответе. Исследования американских ученых подтверждают, что у лиц, вакцинированных против натуральной оспы 25–75 лет назад, имеется достаточное количество антител, но в то же время содержание специфических Т-клеток уменьшалось. При изучении уровня и продолжительности гуморального и клеточно-опосредованного иммунитета, индуцированного вирусом натуральной оспы после вакцинации или болезни, установлено, что напряженность иммунитета сравнима вне зависимости от того, были ли субъекты вакцинированы или заразились природной оспой.

Несмотря на приведенные выше данные, эта область исследований остается недостаточно изученной. Анализ базы данных публикаций выявил небольшое количество статей по изучению Т-клеточного иммунитета у пациентов, перенесших натуральную оспу и оспу обезьян, а также привитых против VARV. Также следует отметить отсутствие современных публикаций, в которых сравнивали бы напряженность иммунитета после вакцинации разными вакцинами.

Вакцины против MPXV

Известно, что ортопоксвирусы обеспечивают перекрестную защиту от большинства представителей данного рода. По имеющейся информации, основанной на публикациях 80-х гг. прошлого столетия, вакцинация от натуральной оспы приводит к широкому реактивному серологическому ответу против всех возбудителей, относящихся к роду MPXV, и в 85% случаев предотвращает оспу обезьян либо способствует более легкому течению болезни. Таким образом, распространение MPXV может тормозиться в том числе за счет сохранного иммунитета после вакцинации от натуральной оспы у лиц старше 45 лет. Многолетние исследования привели к разработке новых более безопасных вакцин (второго и третьего поколения), часть из которых могут быть полезны для предотвращения оспы обезьян. Так, MVA-BN и LC16 уже одобрены для профилактики оспы обезьян. ACAM2000 находится на стадии оценки эффективности.

Специфическое лечение натуральной оспы и оспы обезьян

Лекарственные средства, доступные для лечения натуральной оспы и оспы обезьян, включают тековиримат, бринцидофовир и иммуноглобулин коровьей оспы.

Тековиримат (TROXX, ST-246) – противовирусный препарат для взрослых и детей. Лабораторные испытания показали, что он останавливает размножение вируса и эффективен при лечении животных, у которых были заболевания, сходные с оспой. Исследованиями доказана безопасность препарата, при назначении его здоровым людям наблюдались лишь незначительные побочные эффекты. В настоящее время проводятся клинические испытания по оценке его эффективности для лечения оспы обезьян. Тековиримат одобрен Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) и доступен в виде таблеток или инъекций.

Бринцидофовир (CMX001, Tembexa) применяется FDA для лечения натуральной оспы у взрослых и детей, включая новорожденных. Данных о его эффективности в отношении инфекции, вызванной вирусом оспы обезьян, нет. Однако в исследованиях *in vitro* и на животных было показано, что он эффективен против ортопоксвирусов.

Иммуноглобулин коровьей оспы (VIG) представляет собой иммунобиологический препарат из плазмы донора, вакцинированного против натуральной оспы. Его эффективность при лечении MPXV у людей не доказана. VIG можно рассматривать для профилактического применения у контактных с лицами с тяжелым иммунодефицитом. Доступность препарата VIG зависит от наличия плазмы, а его стоимость очень высока, что ограничивает его широкое применение.

Цидофовир – противовирусный препарат, одобренный FDA для лечения цитомегаловирусного (ЦМВ) ретинита у пациентов с синдромом приобретенного иммунодефицита (СПИД). Коммерчески доступен в виде инъекций. Данные о его результативности при лечении вирусной инфекции обезьяньей оспы у людей отсутствуют. Однако в исследованиях *in vitro* было показано, что он эффективен против ортопоксвирусов.

Таким образом, ввиду угрозы распространения оспы обезьян и опасности применения вируса натуральной оспы в качестве биологического оружия, а также недостаточной изученности формирования и продолжительности иммунного ответа организма против воз-

будителей рода OPXV актуальна оценка клеточного и гуморального иммунитета против возбудителя натуральной оспы среди вакцинированного и не вакцинированного населения разных возрастных групп. Это даст новую исчерпывающую информацию о продолжительности постvakцинального иммунитета, что позволит оценить возможный риск роста заболеваемости и состояние популяционного иммунитета. ■

■ **Summary:** This review addresses the poxviruses which are the most dangerous and urgent biological threats, especially smallpox and monkeypox. The authors discuss general characteristics of viruses, historical aspects of diseases caused by these pathogens, vaccination and control and treatment of viral infections.

■ **Keywords:** poxviruses, smallpox, monkeypox openness of the economy.
■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-38-42>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Smallpox and Monkeypox Viruses / S. Parker [et al.] // Encyclopedia of Virology. 2008. 3rd edition. P. 639–644.
2. The Origin of the Variola Virus / I.V. Babkin, I.N. Babkina // Viruses. 2015. Vol. 7, №3. P. 1100–1112.
3. History of Smallpox and Its Spread in Human Populations / C. Thèves, E. Crubézy, P. Biagini // Microbiology Spectrum. 2016. Vol. 4, №4. P. 1–10.
4. Monkeypox, A Literature Review: What Is New and Where Does This concerning Virus Come From? / G. Tiecco [et al.] // Viruses. 2022. Vol. 14, №9. P. 1–13.
5. Preparedness for a monkeypox outbreak / Q. Luo, J. Han // Infectious Medicine. 2022. Vol.1, №2. P. 124–134.
6. Monkeypox Virus in Nigeria: Infection Biology, Epidemiology, and Evolution / E. Alakunle [et al.] // Viruses. 2020. Vol. 12, №11. Article 1257. doi: 10.3390/v12111257.
7. World Health Organization // <https://www.who.int>.
8. Gruber Marion F. Current status of monkeypox vaccines / Marion F. Gruber // npj Vaccines. 2022. Vol. 94, №7. P. 1–3.
9. Preparedness for a monkeypox outbreak / Q. Luo, J. Han // Infectious Medicine. 2022. Vol.1, №2. P. 124–134.
10. Prevention and Treatment of Monkeypox / John G. Rizk [et al.] // Drugs. 2022. Vol.82. P. 957–963.
11. Challenges and Achievements in Prevention and Treatment of Smallpox / S. Melamed, T. Israely, N. Paran // Vaccines. 2018. Vol. 6, №1. P. 1–20.
12. Linear Epitopes in Vaccinia Virus A27 Are Targets of Protective Antibodies Induced by Vaccination against Smallpox / T. Kaever [et al.] // J. Virol. 2016. Vol. 90, №9. P. 4334–4345.
13. Repositioning potentials of smallpox vaccines and antiviral agents in monkeypox outbreak: A rapid review on comparative benefits and risks / Md. Rabiu Islam [et al.] // Health Science Reports. 2022. Vol. 5, №5. P. 1–10.
14. Cross-Neutralizing and Protective Human Antibody Specificities to Poxvirus Infections / I. Gilchuk [et al.] // Cell. 2016. Vol. 167, №3. P. 684–694.
15. A Cross-Sectional Serosurvey of Anti-Orthopoxvirus Antibodies in Central and Western Africa / Siv Aina J. Leendertz [et al.] // Viruses. 2017. Vol. 9, №10. P. 1–12.

Статья поступила в редакцию 19.01.2023 г.



ОСОБЕННОСТИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СПРОСА НА ИННОВАЦИИ



Лариса Тригубович,
проректор по учебной работе
Республиканского института
повышения квалификации
и переподготовки работников
Министерства труда и социальной
защиты Республики Беларусь,
кандидат экономических наук, доцент

В современной экономике инновации рассматриваются в качестве одного из ключевых источников обеспечения устойчивого экономического роста в долгосрочном периоде. Они выполняют несколько важнейших социально-экономических функций в жизнедеятельности человека и общества: преобразования (соединяя теорию и практику в конкретной предметной области знаний для создания новой потребительской ценности); стимулирования (повышая мотивацию к изменению привычного образа действий, расширению потребления, улучшению качества жизни); развития человеческого капитала (воплощая результаты творческого труда человека в различных областях знаний, а также за счет приобретения и совершенствования профессиональных знаний, креативности, инициативности, адаптации деятельности и опыта в процессе реализации собственных потребностей и взаимодействия с окружающими).

При этом подавляющее большинство научных исследований, посвященных инновационной проблематике, рассматривают ее с точки зрения создания новых продуктов, совершенствования существующих технологий производства, внедрения передовых управлеченческих решений и т.д., то есть с точки зрения процессов, отражающих фактор предложания инноваций. Эта тенденция поддерживается и государством в рамках осуществления мероприятий по стимулированию инновационного движения. Реализация Государственной программы инновационного развития, строительство технопарковых структур и бизнес-инкубаторов, формирование технологических платформ, создание инновационных фондов – все это направлено на поддержку инновационного предложения. Но, как демонстрируют статистические данные, кардинального влияния на результативность инновационной деятельности в Беларусь эти меры не оказывают.

По нашей оценке, в качестве существенной причины, сдерживающей инновационное развитие экономики, выступает низкий спрос субъектов экономики на инновации. Однако в экономической литературе этому фактору, непосредственно влияющему на реализацию инновационных процессов, уделяется гораздо меньше внимания, чем предложению.

Спрос на инновации как экономическая категория значительно

отличается от спроса на традиционную продукцию. Ключевым потребительским свойством, определяющим привлекательность любого инновационного продукта, является его уникальность. Именно это свойство создает и позволяет удовлетворять новые человеческие потребности, а также обеспечивает условия для самовыражения и самодоверия, реализации стрем-

ления к социальной адекватности, определенной статусности, общественному признанию. С другой стороны, это же свойство провоцирует и определенное неприятие инноваций частью общества, испытывающей страх и чувство неуверенности, вызываемые непониманием сущности инновации, сложностью использования нового продукта или необходимости отказа от сложившихся

предпочтений. В данном случае «заинтересованность в покупке возникает на стыке потребности и стимула. Желания покупки присущи в той или иной степени всем людям, но существуют отличия по степени их готовности опробовать новый товар» [1].

С течением времени уникальность как ключевое потребительское свойство утрачивает свою актуальность, и инновация либо уходит с рынка в связи с отсутствием спроса на нее, либо в процессе диффузии постепенно превращается в продукт массового потребления и становится неотъемлемым атрибутом общественной жизни. Например, широко распространенные сегодня мобильные сетевые коммуникации, дома, напечатанные на 3D-принтере, беспилотные транспортные средства еще не так давно считались фантастикой.

То есть в зависимости от мотивации конкретного субъекта экономики и специфики восприятия им инновационного объекта потенциальные возможности использования инновации могут быть преобразованы в новые качества и компетенции. При этом, если в общем случае спрос отражает желание и материальную возможность покупателя приобрести какой-либо продукт на условиях, установленных продавцом, и с его помощью удовлетворить свои потребности, то спрос на инновации прямо отражает специфику данной категории продукции, связанную в первую очередь с отсутствием достаточной информации о характере и степени удовлетворения потребности с помощью данного продукта (а часто и с отсутствием самой потребности), а также с возможностью появления непредвиденных рисков при его использовании.

Компонент спроса на инновации	Характеристика компонентов спроса на инновации	Преимущества реализации спроса на инновации
Экономический	<p>Зависимость результатов экономической деятельности от жизненного цикла продукта (технологии)</p> <p>Распространение нового технологического уклада</p> <p>Дифференциация продукции, уникальность ее отдельных характеристик</p> <p>Создание рыночной ниши с потенциалом роста</p> <p>Возможность занять лидирующие позиции на рынке</p>	<p>Получение больших доходов за счет использования уникальных условий осуществления деятельности</p> <p>Отсутствие на конкретном рынке доступных и (или) приемлемых заменителей продукции</p> <p>Уход от конкурентной борьбы и создание собственной ниши с особыми свойствами внутри конкретного рынка продукции</p> <p>Занятие и (или) сохранение доминирующего положения в рамках определенной части рынка</p> <p>Формирование рыночной зоны влияния за счет использования технологического лидерства, логистики, реализации и сопровождения полного жизненного цикла продукта и др.</p>
Рациональный	<p>Наличие потребности в новых знаниях, компетенциях на основе применения инноваций</p> <p>Готовность к потреблению новых товаров (услуг, технологий)</p> <p>Представление о будущей выгоде от применения инновации</p> <p>Реакция на внешнее воздействие</p>	<p>Высокая ожидаемая потребительская ценность нового продукта</p> <p>Превосходство качественных показателей нового продукта над его аналогами</p> <p>Расширение спектра способов и возможностей для самовыражения и развития</p> <p>Получение (закрепление, расширение) конкурентных преимуществ</p> <p>Получение нового источника прибыли</p>
Эмоциональный	<p>Психологическая неудовлетворенность текущим состоянием</p> <p>Стремление к новизне</p> <p>Наличие потребности в получении нового опыта</p> <p>Поведенческая установка</p> <p>Зависимость от мнения социального окружения</p>	<p>Демонстрация владения уникальным знанием (опытом)</p> <p>Восприятие нового как безусловно ценного и имеющего абсолютные преимущества перед старым</p> <p>Выгода от самовыражения и самоидентификации</p> <p>Удовольствие от познания неизвестного (в том числе от ощущения риска)</p> <p>Расширение спектра коммуникативного взаимодействия</p> <p>Социальная защищенность</p>

Таблица. Компоненты спроса на инновации и их характеристика

Источник: разработка автора

Следовательно, инновационный спрос демонстрирует взаимосвязь между новшеством, обладающим некими уникальными свойствами, расширяющими возможности потребления, и мотивацией социума, принимающего либо отвергающего его. Такой спрос проявляется через субъективную оценку значимости инновационных продуктов (услуг, технологий), характеризуется большим разнообразием (государственный, частный, внутренний, внешний, со стороны хозяйствующих субъектов, населения) и имеет высокую степень рыночной и технологической неопределенности.

В научной литературе спрос на инновации подразделяется на две группы: первичный (технологические и организационные новшества) и вторичный (товары, услуги, технологии, созданные с помощью инноваций). Представителями первого выступают организации, предприятия; второго – население, домохозяйства; государство предъявляет оба варианта спроса, приобретая и технологии, и продукты [2].

Следует отметить, что существующее многообразие типов инноваций предопределяет различия в системе критериев их субъективного потребительского выбора и в разнообразии использования.

Ключевые компоненты спроса на инновации и их сущностная характеристика представлены в таблице.

Все более важную и значимую роль в формировании спроса на инновации играет государство, которое за счет активизации инновационных процессов обеспечивает ускорение темпов развития различных секторов экономики. Именно оно выступает в роли заказчика конкрет-

ных инновационных проектов, выделяет субсидии для внедрения новых продуктов и технологий, осуществляет их прямую закупку. В итоге это обеспечивает новые условия для экономического и социального роста посредством получения обществом новых знаний, расширения производственных возможностей, формирования и потребления новых продуктов. В свою очередь, воздействие внедряемых в экономику инноваций задает направление перемен в промышленности, образовании, культуре, определяя новые условия для кадрового обеспечения производства, изменение рынков сбыта, структуру и качество привлекаемых ресурсов, готовность общества к массовому использованию новшеств [3].

Характер спроса на инновации и соответствующие ему инновационная восприимчивость новых продуктов (услуг, технологий) и рыночное поведение потребителей инноваций формируются под воздействием внутренних и внешних факторов.

При этом главным фактором выступает внутренняя мотивация принятия решения, которая является следствием специфики поставленной задачи и определяется социально-психологической структурой личности конкретного потребителя. Намереваясь совершить покупку, он приобретает не сам продукт, а то представление о результате, который она ему принесет. И данное решение полностью зависит от того, насколько важен для конкретного субъекта предполагаемый конечный результат, получаемый с помощью нововведения. Именно этот фактор выступает принципиальной ключевой характеристикой спроса на инновации [4].

Подтверждением сказанному является тот факт, что далеко

не все созданные новшества вос требованы рынком: субъективное представление об их полезности, приемлемости использования с точки зрения соответствия общественным и культурным ценностям, возможность альтернативного применения ресурсов, потенциальные риски от применения, психологические и социальные стереотипы – важные мотивы при принятии потребителями решений, касающихся инноваций.

Необходимо отметить два важных внутренних фактора, оказывающих воздействие на изменение субъективного представления индивида о полезности использования инновации: во-первых, это контекст принятия решения, который количественно ограничивает альтернативный выбор; во-вторых, фактор времени (под влиянием различных обстоятельств важность будущего результата предполагаемого экономического блага может измениться с течением времени).

Также к внутренним факт орам следует отнести финансовые возможности, готовность к риску, качество знаний, уровень жизни, доходов, деловой активности, тип потребления, характер участия и тип взаимодействия в межличностных коммуникациях, стремление к лидерству.

Внешними факторами формирования спроса на инновации выступают общая экономическая и политическая ситуация, культурные традиции, приверженности социума, государственная инновационная политика и т.д.

Проведенные исследования позволили выделить три разновидности спроса на инновации с учетом особенностей их использования:

производственный – когда новый продукт (технология,

процесс) внедряется для создания нового потребительского блага или повышения ценности уже существующего. В данном случае мотивация спроса на инновации связана с желанием потребителя обеспечить выпуск новых продуктов (услуг, технологий), повышение производительности труда, конкурентоспособности продукции и производства, улучшение качества обслуживания, совершенствование системы управления, а также со стремлением к эффективности влияния бренда и деловой репутации компании на формирование ее положительного имиджа на рынке – в этом случае новые продукты априори воспринимаются полезными и достойными приобретения;

инвестиционный – представителем спроса выступает посредник, который вкладывает средства в реализацию идей, покупку новых продуктов и технологий с целью последующей продажи созданного с их помощью инновационного продукта и (или) самого бизнеса. Данный вариант мотивирует к использованию инноваций в качестве возможного источника получения прибыли;

потребительский – ситуация, при которой новый продукт (услугу, технологию) приобретает конечный потребитель для личных целей. Мотивация спроса в этом случае направлена на улучшение качества жизни человека, создание комфортной обстановки, получение уникального продукта, опыта, новых возможностей и способов для удовлетворения своих потребностей, а также любопытства и, в отдельных случаях, на демонстрацию исключительности выбранной модели потребления.

Важно отметить неотъемлемость и взаимозависимость выделенных разновидностей спроса: с одной стороны, потребители, предпочитая либо отвергая конкретные виды конечной инновационной продукции, оценивают значимость предпринимательства в той или иной сфере инновационной деятельности, тем самым опосредованно влияют на рынок первичных инноваций, стимулируя рост величины предложения на нем, с другой – стимулируют создание определенных инновационных рыночных ниш и соответствующую технологическую, организационную и структурную перестройку отдельных

видов экономической деятельности и секторов экономики [5].

Полагаем обоснованным интерпретировать закономерности формирования спроса на инновации на основе концепции принятия предпринимательских решений в условиях неопределенности и теории ожидаемой полезности [6–8]. В рамках данной теории модель элементарного акта выбора решения одного из альтернативных вариантов строится исходя из уровня достоверности событий (неопределенности) и психологической обусловленности.

Так, согласно Ф. Найту, механизм принятия решений в условиях принципиальной неопределенности будущего не может обуславливаться рациональными расчетами, поскольку для них нет достаточной информации. В этой связи все решения принимаются субъектом в большей степени на основе интуиции, с опорой на прошлый опыт аналогичных событий и детальный анализ конкретной ситуации. И исходя из этого рассматриваются различные альтернативные решения и возможные варианты развития событий до тех пор, пока один из них не начнет вызывать устойчивое чувство уверенности в его оптимальности [7].

Обобщенная классификация вероятных ситуаций, с точки зрения вероятности наступления определенных событий в будущем по Ф. Найту, представлена на рисунке.

Соответственно, развивая выводы Ф. Найта, можно утверждать, что характер спроса на инновации подобен поведению игроков азартных игр, которое базируется на вере в способность предугадать будущее, а не опирается на рациональный расчет. В условиях неопределен-



Рисунок. Классификация достоверности событий по Ф. Найту
Источник: разработано автором по [6, 7]

ности основным вопросом потребителя инноваций становится его желание рисковать с учетом вероятности получить предполагаемый результат, связываемый не только с образом конкретного продукта, сколько с субъективной интерпретацией значимости его использования.

При этом особенности риска существенно отличаются в зависимости от типа спроса на инновации. Так, если производственный спрос базируется на оценке будущей доходности от осуществленных вложений, связанной с предполагаемым потребительским спросом (прогноз), а инвестиционный исходит из перспективы получения предполагаемой выгоды с учетом возможности банкротства должника, недостаточности финансового обеспечения производственного процесса и уменьшения стоимости денег (расчет), то конечный потребитель инноваций (потребительский спрос) принимает решение о покупке исходя из наличного набора потребительских благ, дохода и собственных актуальных предпочтений.

Как показывают результаты исследований, в современной теории недооценена роль размытости, неточности и асимметрии в распределении информации как источника инновационной деятельности, а также несохраняемости знаний в условиях сотрудничества субъектов в процессе внедрения новшеств. С одной стороны, это повышает уровень неопределенности конечного результата, с другой – информация в современном мире превратилась в самостоятельный фактор производства, а информационные ресурсы, являясь одновременно и необходимым условием осуществления инновационной деятельности, и продуктом

информационной отрасли, оказывают существенное воздействие на функционирование промышленности, сферы услуг, технологические и потребительские предпочтения, определяя качество и уровень экономики в целом. При этом такие характерные черты самой информации, как изобилие, интенсивность, беспорядочность, разноплановость, делают ее сложно управляемым и слабо структурируемым объектом. Это определяет необходимость защиты интересов участников инновационных процессов со стороны государства [9, 10].

Психологическую обусловленность спроса на инновации можно объяснить с помощью теории перспектив Д. Канемана и А. Тверски, согласно которой в ситуации риска и неполных данных о происходящих и будущих событиях человек в гораздо меньшей степени готов рисковать уже имеющимся, нежели тем, что в перспективе может приобрести. Кроме того, что при принятии решений потребитель опирается на субъективное ощущение ценности, он «нелинейно относится к вероятностям», то есть склонен недооценивать маленькие возможности и переоценивать большие, причем желание рисковать зависит не столько от вероятности получения экономического блага, сколько от контекста принятия решения. Важным здесь является то, что оценка значимости событий жестко привязывается мозгом к понятию точки отсчета. Это означает, что все свои ощущения в настоящем, прошлом или будущем человек сравнивает со своим индивидуальным представлением о стабильности и внутреннем эмоциональном равновесии в повседневной жизни (которое и является такой точкой). Соответственно, любое

решение, связанное с риском, представляет собой отступление от нее и выход из зоны комфорта и стабильности, что провоцирует неприятие и отторжение вероятной потери и отказ от проблемной ситуации [11].

Изложенное позволяет выделить следующие закономерности в формировании различных типов спроса на инновации.

Производственный спрос на инновации характеризуется сравнительно низким уровнем принятия риска, что обуславливает предпочтение использования проверенных на практике технологических решений, обеспечивающих в первую очередь надежность функционирования предприятия, а не новизну. Следствием этого является низкая инновационная активность большинства промышленных организаций и непризнание инноваций в качестве ключевого фактора устойчивого роста. Производственные компании отдают предпочтение реализации таких стратегических направлений, как встраивание в глобальные цепочки создания стоимости, поиск новых ниш, внедрение и поддержание особых условий на существующих рынках, доработка существующего ассортимента выпускаемой продукции, укрепление имиджа, развитие бренда и т.д. Соответственно, характер производственного спроса и мотивация к инновационной активности зависят в большей степени от внешней среды осуществления деятельности, силы воздействия прямого и косвенного стимулирования, согласованности взаимоотношений акторов инновационной сферы.

Инвестиционный спрос на инновации сопровождается осознанным риском, связанным

с возможностью потери вложенных средств в случае неудачного (независимо от причины) завершения финансируемого проекта, и увеличивается при его локализации. Следствием этого являются высокая значимость страхования рисков при заключении сделок, большая вероятность конфликтов между инвестором и производителем вследствие различий в интересах по поводу распоряжения прибылью, управления организацией, привлечения новых инвесторов, выхода из бизнеса и его продажи; существенные различия в инвестиционных предпочтениях и отношении к риску инвесторов в зависимости от уровня доходов (это касается субъективной оценки ценности совершаемых сделок, рациональности проводимых торговых операций, уровня ликвидности финансовых инструментов). Выбранный инвестиционный механизм прямо влияет на специфику взаимосвязей в инновационной сфере и расстановку приоритетов в оценке внутренних и внешних факторов, определяющих объемы и направления инвестирования, что обуславливает содержание инновационных процессов и непосредственно влияет на активность и экономическое поведение субъектов инновационного взаимодействия. Следовательно, привлекательность инноваций как предмет инвестиционного спроса зависит от экономической и политической стабильности, предоставляемых гарантий, налоговых преференций и т.п.

Потребительский спрос на инновации в высокой степени зависит от качества и доступности информации, поступающей к потенциальным покупателям, их платежеспособности и субъективного представления о зна-

чимости результата использования инновационного продукта. Именно информационная среда формирует конфигурацию инфраструктуры взаимодействия всех участников инновационных процессов и, соответственно, обуславливает характер протекания диффузии инноваций (способность нового продукта распространяться с определенной скоростью и масштабом в экономической системе), от чего, в свою очередь, зависит конкурентоспособность и продолжительность жизненного цикла конкретных инновационных продуктов.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод, что от особенностей формирования спроса на инновации в каждой из выделенных категорий потребителей зависит поведение и характер взаимодействия субъектов, участвующих в инновационной деятельности. К тому же первопричиной нереализованных инновационных возможностей в экономике является низкая мотивация спроса и неготовность информационной среды к трансляции, комбинации и компиляции знаний, способствующих созданию и распространению доступной и достоверной информации, предоставляющей дополнительные возможности для принятия решений. Характер взаимоотношений в инновационной сфере и устойчивость инновационного развития тесно взаимосвязаны и зависят от полноты и оперативности сведений, касающихся нововведений и их практической ценности. Кроме того, стимулирование, сопровождающее инновации, меняет вектор направленности финансовых потоков в экономике, что, в свою очередь, влияет на изменение технологических, профессиональных, соци-

альных приоритетов и потребностей. В этой связи координация инновационных процессов должна осуществляться с учетом предвидения возможных последствий сопровождающих их социально-производственных изменений. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. И.В. Виниченко. Прогнозирование спроса в модной индустрии / И.В. Виниченко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. №11 (ч. 1). С. 140–142.
2. Михалева Е.П. К вопросу о формировании рынка инноваций на современном этапе в РФ / Е.П. Михалева // Актуальные вопросы экономических наук: материалы I Междунар. науч. конф. (г. Уфа, октябрь 2011 г.) – Уфа, 2011. С. 27–31.
3. Тригубович Л.Г. Направления развития инновационной сферы Республики Беларусь / Л.Г. Тригубович. – Минск, 2017.
4. В.И. Бельский. Мотивационная основа инновационной деятельности как источник интенсификации развития экономики / В.И. Бельский, Л.Г. Тригубович // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. гуманіт. наука. 2019. Т. 64, №4. С. 502–509.
5. Ю.М. Асатурова. Повышение инновационной активности предприятий в условиях дефицита финансов / Ю.М. Асатурова, Т.Ю. Хватова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12, №1. С. 132–145.
6. М.В. Рыжкова. Возможности теории ожидаемой полезности в описании потребительского выбора / М.В. Рыжкова // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322, №6. С. 65–70.
7. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль / Ф.Х. Найт; пер. с англ. – М., 2003.
8. Rapp D.J. On entrepreneurial decision logics under conditions of uncertainty: an attempt to advance the current debate / D.J. Rapp, M. Olbrich // Journal of Innovation and Entrepreneurship // <https://innovation-entrepreneurship.springeropen.com/articles/10.1186/s13731-020-00131-7>.
9. Ичкитидзе Ю.Р. Тренды инновационного развития: мировой опыт государственной поддержки новых отраслей / Ю.Р. Ичкитидзе, С.Ю. Румянцева. – СПб., 2016.
10. Тригубович Л.Г. Роль информационной среды в инновационном развитии экономики / Л.Г. Тригубович // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19–20 мая 2022 г.). – Минск, 2022. С. 244–245.
11. Д. Канеман, А. Тверски. Рациональный выбор, ценности и фреймы // Психологический журнал. 2003. Т. 24, №4. С. 31–42.

Государственно-частное партнерство в управлении инвестиционной активностью региона

УДК 338.24

Аннотация. В статье предложена авторская формулировка понятия «инвестиционная активность региона», рассмотрены сущностные аспекты и характеристики региональной инвестиционной активности, исследован механизм управления инвестиционной активностью региона и его структура, определены уровни реализации управленческих действий и направления, сгруппированные в пять функциональных модулей.

Проведен анализ применяемых на практике инструментов и методов регулирования инвестиционной активности. На основе зарубежного опыта исследованы особенности и преимущества государственно-частного партнерства (ГЧП) как одного из инструментов управления региональной инвестиционной активностью. С целью активизации инвестиционной деятельности на мезоуровне инструментами ГЧП предложены направления совершенствования ее информационного, аналитического и институционального обеспечения, а также законодательной базы с расширением функций региональных органов власти по заключению соглашения о государственно-частном партнерстве.

Ключевые слова: регион, инвестиционная активность, управление, механизм управления, инструменты управления, государственно-частное партнерство.

Для цитирования: Мацукевич Н., Коврей В. Государственно-частное партнерство в управлении инвестиционной активностью региона // Наука и инновации. 2023. №2. С. 49–55. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-49-55>



Наталья Мацукевич,
заместитель начальника
отдела прогнозирования
и анализа комитета
экономики Брестского
облисполкома, магистр;
pnabr@rambler.ru



Валентина Коврей,
доцент кафедры экономического
развития и менеджмента Академии
управления при Президенте Республики
Беларусь, кандидат экономических наук,
доцент;
kovrei.v@yandex.by

Организация инвестиционной деятельности является составной частью общей системы управления социально-экономическим развитием Республики Беларусь и ее регионов. Разработка эффективного механизма формирования благоприятного инвестиционного климата способствует накоплению инвестиционных ресурсов внутри территориально-административной единицы, а также привлечению внешних инвестиций. При этом достигается положительный эффект, выраженный в росте объемов финансирования, направляемых в приоритетные отрасли

экономики, что, в свою очередь, способствует достижению стратегических региональных целей.

Инвестиционная активность проявляется в виде:

- формирования предложения инвестиционных ресурсов;
- создания качественного спроса со стороны реципиентов инвестиций;
- развития эффективной инвестиционной инфраструктуры в регионе, облегчающей встречу и взаимодействие инвестора и получателя инвестиций;
- совершенствования региональной нормативно-правовой базы инвестирования;
- устранения административных барьеров;

- снижения региональных инвестиционных рисков.

Инвестиционная привлекательность региона влияет на его инвестиционную активность. В свою очередь инвестиционный климат определяется двумя слагаемыми.

Становление экономики в сложных условиях экономической интеграции и связанными с ней ограничениями в движении ресурсов объективно указывает на необходимость ревизии подходов к регулированию и анализу влияния инвестиций на социально-экономическое развитие регионов. При этом теория и практика хозяйствования свидетельствуют, что оно обеспечивается не только достигнутым объемом вало-

вых инвестиций, но и их структурой, и динамикой.

Свойство экономической системы региона, отражающее в динамике интенсивность инвестиционной деятельности в нем с учетом масштабности, направленности и эффективности инвестиционных вложений, предлагается рассматривать как региональную инвестиционную активность [4, 5]. Ее уровень обусловлен участием региона (его субъектов) в инвестиционном процессе имеющимся внутренними ресурсами (средствами субъектов хозяйствования, заемными, местных бюджетов и др.) и привлеченными инвестициями (иностранные, республиканский бюджет и др.), достига-



Рисунок. Составляющие механизма управления инвестиционной активностью региона. Источник: собственная разработка

нием на этой базе максимальных экономических, бюджетных и социальных эффектов.

Инвестиционная активность региона выступает фактором, определяющим структуру его экономики, объемы производства, занятость населения, доходы бюджета, и является важным условием устойчивого долгосрочного социально-экономического развития [6]. Согласно мировому опыту, для обеспечения в экономике региона простого воспроизводства доля инвестиций в ВВП (ВРП) должна быть не ниже 20%, а для расширенного составлять 30–40%.

Инвестиционный процесс по своей сути динамичен и, следовательно, требует применения гибких форм его организации и управления, заключающихся в выявлении наиболее эффективных (экономически и социально) объектов инвестирования, поиске и привлечении необходимых для этого ресурсов, разработке соответствующей инвестиционной программы и комплекса мероприятий по ее выполнению. Требуется также реализация стандартных функций, среди которых анализ и диагностика, планирование (стратегическое и тактическое) и прогнозирование, организация и регулирование, мониторинг, контроль инвестиционной активности.

Механизм управления региональной инвестиционной активностью определяется как совокупность форм, методов и инструментов, посредством которых государственные органы, реципиенты и инвесторы способны содействовать устойчивому повышению эффективности инвестиционной деятельности.

Такой механизм обеспечивает:

- *воздействие на процессы привлечения и использования инвестиций;*
- *взаимосвязанную реализацию интересов различных инвесторов;*
- *сочетание стратегических и тактических (оперативных) действий субъектов управления;*
- *партнерство государства, предприятий-реципиентов и инвесторов;*
- *комплексное воздействие на объект управления;*
- *высокий уровень и разнообразие инструментальной базы управления.*

Инвестиционная активность зависит также от проводимой политики по созданию благоприятного инвестиционного климата в регионе, от субъектных действий инвесторов и реципиентов. Важную роль в принятии решений об инвестировании играют качество управления инвестиционными процессами, готовность предпринимать соответствующие действия, наличие механизмов ограничивающего характера для вовлечения инвесторов в определенные сферы.

Механизм управления инвестиционными процессами на региональном уровне включает ряд элементов, представленных на *рисунке*.

Как показал проведенный авторами анализ, по субъектному составу управление инвестиционной активностью регионов (областей) республики можно охарактеризовать как многоуровневое, включающее:

- *органы государственного управления региона и его административно-территориальных единиц;*

- *предприятия региона, центры поддержки предпринимательства, инкубаторы малого бизнеса, научно-технологические парки, центры трансфера технологий и др.;*
- *органы местной власти и самоуправления областного, городского и районного уровней.*

Управленческие действия осуществляются в рамках стратегического, тактического и оперативного планирования социально-экономического развития региона и инвестиционной деятельности и в ходе реализации государственных и отраслевых программ, ежегодно формируемой Государственной и региональной инвестиционных программ, Национального инфраструктурного плана Республики Беларусь, Государственной инновационной программы, программ социально-экономического развития областей и ее административно-территориальных единиц на 2021–2025 гг., ежегодного Плана их развития, научно-технической программы областей.

Стратегическое управление инвестиционной активностью акцентируется на выполнении масштабных и значимых проектов с учетом специализации экономики каждого региона (промышленность, сельское хозяйство, образование, здравоохранение, культура, туризм и др.). С экономической точки зрения механизм управления включает две составляющие: государственное регулирование и внутрихозяйственный менеджмент, находящиеся в тесном взаимодействии, каждая из которых включает 5 модулей (*таблица*).

Государственное регулирование

Институциональное обеспечение

Инвестиционная региональная политика
 Инвестиционная стратегия региона
 Организационно-правовое обеспечение инвестиционной деятельности
 Организационно-правовое обеспечение института государственно-частного партнерства
 Организационная структура государственного управления инвестиционной деятельностью в регионе
 Институты развития (технопарки, фонды, центры поддержки, бизнес-инкубаторы и др.)

Экономическое обеспечение

Прогнозирование, планирование, стратегические планы, программы среднесрочного социально-экономического развития региона, целевые программы (государственные, региональные) развития секторов, отраслей, видов и перспективных форм организации экономической деятельности в регионе
 Формы участия государства в финансировании инвестиционных проектов
 Инфраструктурное обеспечение инвестиционной деятельности
 Система мониторинга условий и результатов инвестиционной деятельности в регионе

Внутрихозяйственный менеджмент

Формы пространственной организации бизнеса (кластеры, холдинги, концерны и др.)
 Организационно-правовое обеспечение инвестиционной деятельности
 Организационная структура управления инвестиционной деятельностью субъекта хозяйствования

Кадровое обеспечение

Финансируемая государством система подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров, обладающих компетенциями, необходимыми в управлении инвестиционной деятельностью на уровне региона, субъекта хозяйствования

Хозяйственные и управленческие стратегии развития субъектов хозяйствования
 Формы участия коммерческих и иных организаций в финансировании инвестиционных проектов
 Система оценки, планирования развития и стимулирования персонала, участвующего в разработке и реализации инвестиционных проектов
 Сбалансированная система показателей, увязывающая результаты деятельности субъекта хозяйствования с параметрами инвестиционного процесса
 Система мониторинга условий и результатов инвестиционной деятельности субъекта хозяйствования

Маркетинговое обеспечение

Стратегии, формы и методы конкуренции региона на национальном рынке инвестиционных ресурсов
 Инструментарий формирования привлекательного инвестиционного имиджа территории
 Бенчмаркинг, позволяющий осуществлять селекцию эффективного зарубежного и отечественного опыта государственной поддержки инвестиционной деятельности

Стратегии, формы и методы конкуренции субъектов хозяйствования на рынке инвестиционных ресурсов
 Инструментарий формирования привлекательного инвестиционного имиджа субъекта хозяйствования
 Бенчмаркинг достижений современной практики управления инвестиционной деятельностью хозяйствующих субъектов

Информационное обеспечение

Информационно-аналитическая база данных о субъектах и объектах инвестиционной деятельности
 Банк данных об индустриальных площадках для возможной застройки, реализуемых и планируемых инвестиционных проектах
 Каталоги экспортной продукции и инвестиционных проектов на русском и иностранных языках
 Информация на сайтах госорганов о социально-экономических особенностях и конкурентных преимуществах региона (инвестиционные предложения и идеи, имущество, производственные площадки и др.)

Информационно-аналитическая база данных о привлекательных для внешнего инвестора проектах развития субъекта хозяйствования
 Каталоги субъекта хозяйствования о производимой продукции и инвестиционных проектах на русском и иностранных языках
 Информация на сайтах субъектов хозяйствования и рекламные материалы о достижениях и конкурентных преимуществах субъекта хозяйствования для отечественных и зарубежных партнеров

Таблица. Модули управления региональной инвестиционной активностью

Источник: собственная разработка

Как показывает практика, для стимулирования инвестиционной деятельности регионов активно применяются административные, экономические (бюджетные, налоговые, кредитно-денежные, анти monopolyные, внешнеэкономические, земельные), институциональные, организационно-управленческие методы и их инструменты. Значительно способствуют инвестированию действующие преференциальные режимы, предоставляющие специальные льготные условия хозяйствования при организации бизнеса в рамках свободных экономических зон или при его размещении на территории малых и средних городов, сельских населенных пунктов.

Применение налоговых льгот как инструмента поддержки инвесторов на региональном уровне приобретает особое значение в связи с дефицитом долгосрочных финансово-кредитных ресурсов, недостаточным уровнем развития инфраструктуры внутренних финансовых рынков, высокими административными барьерами входа и функционирования и т.д.

Приоритеты государственной инвестиционной политики формируются с учетом действующих ограничений в движении ресурсов (в том числе финансовых) и концентрации бюджетных средств на прямых расходах и поддержке социальной сферы – занятости, здравоохранения, образования. В данных условиях усилия государства направлены на мобилизацию частного капитала (сбережений домохозяйств и их конвертацию в инвестиционные ресурсы), используемого в развитии экономики и социальной сферы региона.

Остро назрела необходимость ревизии подходов регулирования, а также инструментов активизации региональной инвестиционной деятельности для повышения ее уровня и преломления сформировавшихся негативных тенденций. Одна из них – дефицит бюджетного финансирования, решить проблему которого можно путем обеспечения эффективного взаимодействия государства и предпринимательских структур с помощью механизмов государственно-частного партнерства, которые позволяют привлечь частные средства и одновременно повысить эффективность использования бюджетных. Для реализации масштабных региональных проектов требуются значительные инвестиционные ресурсы, источником которых может стать бизнес. Одновременно в условиях кризисного и посткризисного развития возрастает интерес последнего к государственной поддержке, позволяющей снизить риски частных вложений, а также повысить надежность инвестиционных проектов для кредитных организаций.

Концепция ГЧП, цель которого – привлечь частного инвестора к строительству и эксплуатации инфраструктурных объектов, остающихся в государственной собственности, получила развитие в конце 80-х – начале 90-х гг. на Западе. В Финляндии таким образом были построены центральные автодороги, в Португалии – реконструированы аэропорты и региональные дороги, во Франции – обновлены сети водоснабжения и построенные скоростные автомагистрали. На территории Германии, Греции, Ита-

лии, Нидерландов с использованием схемы ГЧП реализуются производственные инвестиционные проекты [3].

На современном этапе можно выделить основные причины, усиливающие роль партнерских форм хозяйствования в инвестировании:

- *потребности развития инфраструктуры не совпадают с возможностями государственных органов (республиканским и местными бюджетами) по финансированию ее модернизации, обслуживания и расширения;*
- *бизнес в значительно большей степени, чем государство, обладает мобильностью, быстрой принятия решений, способностью к нововведениям, использованию технических и технологических изменений.*

В ГЧП объединяются ресурсы и потенциалы двух субъектов – государства в форме его собственности и бизнеса в виде частнопредпринимательских принципов хозяйствования, инвестиций, менеджмента, инноваций.

Повысить инвестиционную активность на региональном уровне представляется возможным путем реализации следующих преимуществ ГЧП.

Для государства:

- *снижением финансовой нагрузки на бюджет за счет сокращения расходов;*
- *получением объекта в короткие сроки (повышает налоговые поступления и масштабы потенциальных источников инвестиций из бюджета);*
- *передачей части рисков частному партнеру;*
- *приобретением современных технологий;*

- *обеспечением качественными услугами при эксплуатации;*
 - *эффективным управлением объектом;*
 - *способностью к новаторству;*
 - *привлечением различных финансовых ресурсов через посредничество бизнес-структур;*
 - *возможностью альтернативного вложения бюджетных средств (за счет перераспределения на другие объекты инвестиционных ресурсов, высвобожденных в результате финансирования на основе ГЧП объекта инфраструктуры);*
 - *оптимизацией проектных решений и повышением прибыли по вложенным инвестициям (лучшая интеграция и взаимоувязка между фазами проектирования, строительства и эксплуатации; современное и эффективное управление; минимизация общих затрат по проекту на этапах инвестирования).*
- Для частного партнера:
- *стабильным долгосрочным доходом на вложенный капитал (максимизация прибыли, накопление инвестиций);*
 - *возможностью получения налоговых льгот, льгот на использование земельного участка;*
 - *развитием инновационного бизнеса;*
 - *гарантией сбыта (в том числе расширение рынков сбыта) и загруженности мощностей на долгосрочной основе;*
 - *повышением имиджа компании;*
 - *формированием кредитной истории и роста кредитного рейтинга (повышение кредитного потенциала и привлекательности);*

- *доступом к государственному финансированию, результатам исследований и разработок, информации, оборудованию;*
- *возможностью увеличить доход от инвестиций в отраслях, которые ранее считались сферой государственных капиталовложений.*

Для ГЧП как инструмента стимулирования региональной инвестиционной активности характерны:

- *экономическая эффективность, масштабность инвестиций, направленных на развитие региона;*
- *непривлекательность проекта без участия государства (не обязательно финансовая) для частного инвестора;*
- *высокий мультиплексивный эффект, роль катализатора развития отрасли (региона);*
- *обеспечение увеличения бюджетного налогового денежного потока за счет роста экономики территории.*

В целом использование механизма ГЧП имеет экономический и социальный эффекты, так как снижает затраты на администрирование и риски функционирования объекта. Такая отдача часто весомее, чем просто прямое государственное финансирование, увеличивающее нагрузку на бюджет. Поэтому механизм ГЧП должен базироваться, прежде всего, на использовании диверсифицированного инструментария государственной поддержки.

Анализ зарубежного опыта выполнения проектов ГЧП в региональных экономиках позволил сделать вывод о мультиплексивном эффекте, возникающем в результате их реа-

лизации. Так, государственная поддержка значительно активизирует деятельность частных инвесторов. В свою очередь, проекты ГЧП с учетом их материоемкости, масштабности и комплексности являются важным фактором стимулирования внутреннего спроса в регионах на отечественные товары и услуги, способствуют дополнительной загрузке производственных мощностей, создавая условия для накопления ресурсов и повышения инвестиционной активности субъектов хозяйствования.

Следует отметить, что в большинстве случаев такие проекты выполняются крупными компаниями, играющими в экономике региона важную роль, однако часто необходимо инвестирование и в социальные планы, не приносящие быстрого экономического результата. Здесь конструктивен подход к ГЧП как особой форме государственной инвестиционной политики, позволяющей эффективно использовать потенциал частнопредпринимательской инициативы, с одной стороны, и сохранить контрольные функции и собственность государства в социальных значимых секторах экономики – с другой [3].

В нашей стране институт ГЧП находится на начальной стадии развития. Согласно действующей институциональной базе – Закону Республики Беларусь от 30.12.2015 г. №345-З «О государственно-частном партнерстве» [7], возможность реализовать такой инструмент представлена в форме соглашения о ГЧП и регламентирована в отношении объектов инфраструктуры в законодательно установленных сферах деятельности. Страны – партнеры

Беларуси по Единому экономическому пространству и Таможенному союзу (Россия и Казахстан) давно задействуют данный механизм для решения проблем инфраструктурного дефицита, а Россия активно внедряет ГЧП уже и в осуществление инновационных проектов [1, 2, 8].

Как показывает опыт, устойчивость региона как системы в долгосрочном периоде сохраняется при достаточной гибкости управления со стороны государственных органов власти при одновременной согласованности целей территориального развития. В связи с этим просматривается необходимость совершенствования информационного, аналитического и институционального обеспечения инвестиционной деятельности. Для этого следует законодательно расширить функции региональных органов власти по заключению соглашения о ГЧП, включая упрощение процедуры необходимых согласований в рамках такого документа и сокращение сроков его выдачи, а также повышение гарантий защиты интересов государственных и частных партнеров в процессе подготовки, утверждения и выполнения проектов.

При этом актуальным становится на региональном уровне создание координирующего межведомственного инвестиционного органа – агентства инвестиционного развития, выполняющего функции разработки и реализации региональной инвестиционной политики и стратегии; координации деятельности инвесторов и госорганов; сопровождения проектов ГЧП; консалтинга и информационного обеспечения инвестиционных процессов.

Таким образом, фактором, определяющим структуру экономики региона, доходы его бюджета, объемы производства, занятость населения, является инвестиционная активность. Использование инструментария ГЧП для ее повышения способствует обеспечению концентрации материальных, финансовых, интеллектуальных, научно-технических и иных ресурсов, баланса интересов и рисков,

привлечению внебюджетных источников для осуществления проектов, планов и программ по развитию объектов инфраструктуры [7]. Как результат – динамичный социально-экономический рост региона путем повышения эффективности использования бюджетных средств и увеличения качества и объема услуг государственного сектора за счет дополнительных инвестиций со стороны бизнеса. ■

Summary. The author's formulation of the concept of «investment activity of the region» is proposed in the article, the essential aspects and characteristics of regional investment activity are considered. The mechanism of managing the investment activity of the region and its structure are investigated, the levels of implementation of management actions and directions grouped into five functional modules are determined. The analysis of the tools and methods used in practice to regulate investment activity is carried out. On the basis of foreign experience, the features and advantages of public-private partnership as one of the tools for managing regional investment activity are investigated. In order to activate investment activity at the meso-level, the instruments of public-private partnership suggest ways to improve information, analytical and institutional support for investment activities, as well as the legislative framework with the expansion of the functions of regional authorities to conclude an agreement on public-private partnership.

Keywords: region, investment activity, management, management mechanism, management tools, public-private partnership.

https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-49-55

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инвестиционная стратегия – 2021. Осторожный рост в условиях сохраняющихся рисков // https://finambank.ru/files/u/dw/files/presentations/analyst/strategies/investment_strategy_2021.pdf.
2. Инфраструктура для устойчивого развития / Центр гос.-частн. партнерства / ВЭБ РФ // <https://vzb.rph/downloads/infrastructure-for-sustainability-web.pdf>.
3. Л.А. Кравченко. Государственно-частное партнерство как механизм активизации использования инновационного потенциала // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского / Серия Экономика и управление. 2012. Т. 25, №3. С. 118–127.
4. Н.А. Мацукевич. Экономическое содержание инвестиционной активности как свойства региональной экономической системы / Н.А. Мацукевич: зб. наук. пр. / Соціально-гуманітарний вісник, вип. 35; відповід. секрет. Т.І. Гончаренко. – Харків, 2020.
5. Об инвестициях: Закон Респ. Беларусь от 12 июля 2013 г. № 53-3 / Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь // <http://www.pravo.by>.
6. Об утверждении Программы социально-экономического развития Беларусь на 2021–2025 гг.: Указ Президента Респ. Беларусь, 29 июля 2021 г., № 292 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
7. О государственно-частном партнерстве / Закон Республики Беларусь, 30.12.2015 г., №345-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
8. Основные положения Концепции (стратегии) развития государственно-частного партнерства в РФ до 2020 года / Центр разв. гос.-частн. партнерства. // https://investugra.ru/upload/iblock/36e/Proekt-Konseptsii-razvitiya-GCHP-v-Rossii-do-2020-goda_dlya-obsuzhdeniya_.pdf.

Статья поступила в редакцию 11.07.2022 г.

Технологии искусственного интеллекта: текущее состояние и направления развития



Сергей Абламенко,
профессор механико-
математического
факультета Белорусского
государственного
университета, академик

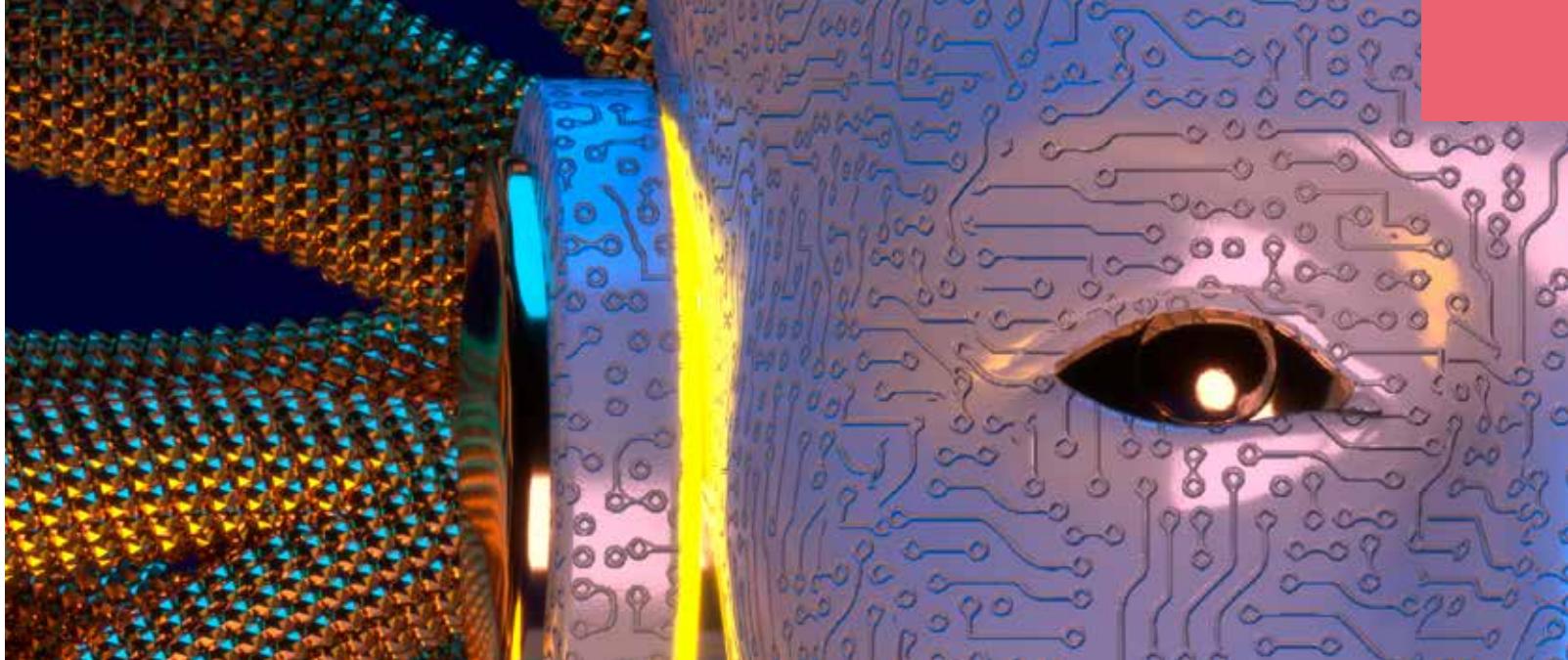


Михаил Журавков,
заведующий кафедрой механико-
математического факультета
Белорусского государственного
университета,
доктор физико-математических наук

Искусственный интеллект (ИИ) все активнее входит в разные сферы жизни, становится неотъемлемой частью бизнеса и пусковым механизмом изменений в области технологий. Темпы его развития стремительно нарастают, а это значит, что вскоре можно ожидать появления массы новых продуктов, приложений и технологических способов, основанных на ИИ, которые окажут серьезное влияние на дальнейшее становление человеческого общества.

Под искусственным интеллектом чаще всего понимают системы технологических решений, позволяющих имитировать мыслительные (когнитивные) функции человека и на этой основе получать выводы и решения, сопоставимые, а в настоящее время – в какой-то мере и превосходящие результаты интеллектуальной деятельности человека. Важным обстоятельством при этом является наличие в имитационном процессе этапов самообучения и поиска решений без заранее заданного алгоритма.

Для более эффективного использования ИИ необходимы 3 составляющие: значительные вычислительные мощности, большие объемы данных и интеллектуальные алгоритмы [1]. Расцвет технологий ИИ начался в XXI в., когда существенно увеличились вычислительные мощности, и ряд математиков и программистов предложили алгоритмы, названные методом глубокого обучения.



Это подвигло правительства многих стран на принятие стратегий и инициатив, национальных программ, направленных на развитие ИИ [2].

Согласно данным международных аналитических агентств, мировые расходы на ИИ в ближайшие 4 года вырастут вдвое, увеличившись с 50,1 млрд долл. в 2020 г. до более чем 110 млрд долл. в 2024 г. [3]. Вложения ЕС в этот сектор в 2025 г. превысят 50 млрд долл. При этом среднегодовой прирост в период с 2021 по 2025 г. составит 26,7%. Предполагается, что к этому времени он обеспечит удвоение темпов роста ВВП ведущих стран и увеличение мирового ВВП на 15 трлн долл. [3]. В дальнейшем объем финансирования ИИ-систем будет зависеть от скорости внедрения искусственного интеллекта в реальный сектор экономики и ее трансформации.

С учетом того, что технологии ИИ получили широкое распространение в медицине, здравоохранении, системах онлайн-продаж товаров и услуг, образовании, промышленности, игровой индустрии, политтехнологиях, в сфере информационной безопасности и др., выход на обозначенные показатели весьма вероятен.

Технологии искусственного интеллекта

Искусственный интеллект как наука и технология взаимосвязан со многими областями научных исследований. И прежде всего это разделы фундаментальной и прикладной математики, физика, обработка сигналов, машинное обучение, компьютерное зрение, психология, лингвистика, биология, наука о мозге и др.

Элементы ИИ в современных автоматизированных компьютерных системах анализа

и обработки данных, моделирования и прогноза не работают как «черные ящики», выдающие окончательное решение, а представляют собой инструментарий поиска самого эффективного из возможных вариантов. Поэтому так важно корректное применение математического аппарата в широком смысле этого понятия, включая методы и подходы к моделированию в таких естественно-научных дисциплинах, как физика, механика, биология и других, вариационное исчисление, численные методы. В наибольшей степени это проявляется при разработке систем поддержки принятия решений как одного из наиболее перспективных направлений развития ИИ, в особенности интеллектуальных систем моделирования и прикладных расчетов. Отметим, что речь идет об автоматизированных системах, то есть системах с участием человека в управлении процессом, осуществляемом при поддержке ИИ.

Принцип работы искусственного интеллекта – это сочетание большого объема данных с возможностями быстрой итеративной их обработки интеллектуальными алгоритмами, что позволяет программам автоматически обучаться на базе закономерностей и признаков, содержащихся в данных [4].

При создании систем ИИ в большинстве своем разработчики ориентируются на несколько базовых технологий. Во-первых, это технология машинного обучения, когда компьютерная программа обрабатывает данные и предлагает решение вне зависимости от строго обозначенных схем (алгоритмов). Она находит закономерности, зависимости, формулирует ответы и выдает прогнозы в заданиях с большим набором

параметров, что не под силу человеку. Во-вторых, это технология глубокого обучения, которая позволяет находить закономерности в огромных массивах информации (Big Data). И, в-третьих, – технологии обработки и генерации естественного языка, преобразовывающие данные в естественный язык, который расшифровывает специальная компьютерная программа, а затем выдает человеку в понятном ключе.

Для обработки данных в последние годы в системах ИИ стали широко использоваться искусственные нейронные сети. Помимо них применяются также методы статистики, исследования операций и другие. Ученые возлагают большие надежды на технологии машинного обучения. Так, все активнее ведется поиск путей исключения человека из этапов написания кодов, некоторых классов алгоритмов и программирования.

К перечисленным технологиям следует отнести рекомендации к постановке модельных математических и компьютерных задач для реальных исследуемых процессов и явлений, а также интеллектуальную интерпретацию и анализ результатов моделирования.

Эра сверхразума – общий ИИ

Сегодня технологии ИИ совершают новый качественный скачок в своем развитии. Как утверждают эксперты, наступает эра сверхразума, когда искусственный интеллект становится не только «лучше человека» в ряде областей, но и готов взять на себя функции творчества, традиционно считающиеся прерогативой человека. Об этом свидетельствует наметившийся поворот от исследований частного ИИ (когда система очень эффективно может решать достаточно узкую задачу, например, поставить диагноз какого-либо вида рака по изображению большого органа) к работам по созданию общего (сильного) искусственного интеллекта (в принятой международной номенклатуре – AGI, Artificial General Intelligence). Под ним понимают человеческий интеллект, наделенный сознанием, то есть практически естественный. Все разработанные и используемые в настоящее время системы ИИ относят к слабому интеллекту [5].

Если ученым удастся создать общий ИИ, то такой продукт может стать копией человека: он будет учиться выполнять абсолютно разные задачи и переносить свои знания из одной сферы в другую, мыслить критически, коопе-

рироваться с людьми или другими искусственными системами, чтобы достичь своих целей. Удастся ли в ближайшей перспективе получить такую технологию, пока неизвестно, но, если это произойдет, мир сильно изменится [6].

Природа общего ИИ понимается как коллективная, распределенная, тогда как в классическом значении она представлялась как индивидуальная, сосредоточенная. Главное требование к современным интеллектуальным системам (технологиям общего ИИ) – наличие способности действовать самостоятельно, принимать решения на основе анализа внешней информации.

Искусственный интеллект обладает несомненным преимуществом при обработке больших объемов данных, но не учитывает сопутствующие обстоятельства – так называемый контекст принятия решения. Во многих ситуациях это критический фактор. Здесь исключительную роль играет интуиция и личный опыт человека. В данном спектре задач системы ИИ темным образом взаимосвязаны с системами приобретения знаний и получения решений.

Знания в системах ИИ

Системы приобретения знаний строятся на основе обработки данных, полученных:

- в ходе диалога с экспертом (в общем смысле этого слова);
- в процессе накопления практического опыта;
- в результате анализа достижений в области фундаментальных и прикладных задач рассматриваемой проблемной области и связанных с ней смежных направлений.

Система получения решения выполняет такие функции, как просмотр содержимого баз знаний, добавление недостающих фактов, применение правил логического вывода для оценки ситуации или выбора очередного шага. Одна из центральных задач при построении и конструировании баз знаний, а на их основе и интеллектуальных систем – подбор специалистов, обладающих уникальным индивидуальным опытом, с помощью которого происходит выявление и воспроизведение знаний. Это ключевой фактор при решении сложных задач. Поэтому так велики затраты, связанные с «добычей» знаний, и потребность в хорошо отработанных и эффективных технологиях для придания им «товарного вида» [7]. При этом очень важно различать знания и умения. Умелое выполнение или реше-

ние некоторой задачи характеризуется такими чертами, как большая скорость (или какой-либо иной показатель эффективности) исполнения, минимальное количество ошибок, оптимальная умственная напряженность, высокая приспособляемость и робастность (устойчивость к сбоям и малым отклонениям в начальных условиях). То есть в них проявляются как сами знания, так и техника их применения и владения. Умение (или мастерство) можно определить, как обладание необходимыми знаниями и умение эффективно их использовать [8].

Почему знаниям при построении интеллектуальных систем уделяется столь повышенное внимание? Во-первых, современные методы символьных рассуждений все еще не обеспечивают четкого, логически не противоречивого представления знаний, описания задач на различных уровнях абстрагирования, распределения средств их решения, управления кооперирующими процессами, объединения в ходе вывода различных источников. Вторая причина состоит в том, что специалисты добиваются исключительно высоких результатов вследствие своих обширных познаний. Если их аккумулировать в машинных программах и грамотно применять, то такие программы также достигнут высокого уровня работы. Еще одна причина связана с признанием собственной ценности знаний. Традиционный способ их передачи от специалиста к новичку сопряжен с длительным периодом процесса обучения и стажировки. Извлечение знаний у профессионала и приданье им формы, позволяющей использовать их в вычислительных машинах, существенно удешевит и их воспроизведение, и применение. Этот процесс можно ускорить, сделав личные знания доступными публичной проверке и оценке.

Системы ИИ работают с информацией различного типа, но наиболее сложным объектом распознавания является видеинформация. При ее считывании выделяют 2 уровня задач – анализ и синтез, первый включает компьютерное зрение, второй – компьютерное моделирование.

Анализ видеинформации и компьютерное моделирование в системах ИИ

Отметим, что в странах со стратегическими целями активного развития ИИ первоочередное внимание уделяется разработке таких математических основ, как:

- методы обработки и интеллектуального анализа данных, видеинформации для различных прикладных задач;
- системы компьютерного моделирования, расчет и анализ разнообразных физических процессов, инженерных систем с элементами ИИ;
- переход к новым интеллектуальным CAD-, CAE- и CAM-технологиям и т.п.

С ростом мощности компьютеров интеллектуальные алгоритмы глубокого обучения, системы анализа и синтеза информации, компьютерного зрения и моделирования стали интенсивно развиваться и внедряться. Компьютерное зрение и моделирование – это основная часть всех систем ИИ. Первое включает распознавание образов и обработку изображений и содержит набор методов, наделяющих компьютер способностью «видеть» и «извлекать» из этого информацию. То есть компьютерное зрение – раздел информатики и искусственного интеллекта, разрабатывающий принципы, методы, технологии идентификации и классификации предметов, явлений, процессов, сигналов, изображений и ситуаций.

Распознавание любого объекта на изображении основывается на отличающих его признаках. Их набор часто определяется интуицией и опытом человека. Однако при автоматизации многих процессов довольно проблематично устанавливать и использовать визуальные, наиболее информативные параметры в силу того, что сложно выявлять, на каких из них он фокусирует свое внимание при классификации тех или иных образов, а также гарантировать, что их применение будет эффективнее набора признаков, сгенерированных математическим путем. Простого решения данной проблемы не существует. Чем больше признаков, тем выше вычислительные затраты и, как правило, хуже результат. Дополнительные сложности возникают еще и в связи с тем, что выбор признаков, то есть настройка системы распознавания, производится на ограниченном числе образов, а в процессе работы системе приходится оперировать гораздо большим их количеством, отличающиеся от которых существенны.

Как и другие типы ИИ, компьютерное зрение ориентируется на выполнение и автоматизацию задач, воспроизводящих человеческие возможности. В этом случае оно старается имитировать зрение и восприятие человека. Спектр практического применения таких технологий указывает на то, что они стали центральным компонентом множества современных инноваций и решений.

В Беларуси исследования в области распознавания образов и обработки изображений начались в 70–80-е гг. прошлого столетия. Одной из первых докторских диссертаций, защищенных по этой тематике, была работа Сергея Абламейко (1990 г.). В настоящее время ведется довольно широкий спектр работ в данной области, и уже имеются весомые результаты.

Что касается практического применения методов ИИ в системах компьютерного моделирования разнообразных физических процессов и явлений (в широком смысле этого понятия), решения различных инженерных задач, то они находятся на начальной стадии. Вместе с тем проектирование, расчет и создание сложных технических систем требует новых методов анализа и поддержки принятия решений, которые так важны для анализа больших данных, решений междисциплинарных проблем техники, и др.

Компьютерное моделирование сегодня стало неотъемлемым элементом систем ИИ, и его успехи очевидны. А вот в вопросе количественного соответствия результатов вычислений и данных натурных наблюдений дело обстоит не столь радужно, так как достичь высокой точности при рассмотрении математических моделей пока крайне сложно. Причин этому немало, и потому одной из важнейших задач в этом сегменте является разработка, развитие и адаптация современных подходов и методов математического и компьютерного моделирования для различных классов задач с элементами интеллектуального анализа.

На протяжении последних лет возможности компьютерного моделирования качественно улучшились. Одно из главных требований к этим технологиям – наличие в них элементов ИИ, или, что представляется более точным, присутствие таких навыков, как сообразительность, понимание, проницательность, умение адекватно прогнозировать на основе обработки больших массивов информации и данных. Системы компьютерного моделирования должны уметь давать рекомендации к постановке модельных задач, корректировать вычислительные алгоритмы, интерпретировать результаты и пр.

Особенно остро стоит проблема внедрения элементов технологий ИИ при компьютерном моделировании технических систем ответственного назначения с целью создания их цифровых двойников, и при управлении ими во время эксплуатации.

Тенденции развития систем ИИ убедительно показывают, что дальнейшее их эффективное использование существенным образом будет определяться возможностями применения различных подходов и методов, таких как обработка информации и изображений, описание присутствующих на них объектов, анализ данных (обнаружение математических закономерностей, различающих классы объектов), технологии компьютерного моделирования (моделирование различных объектов). Поэтому для прогресса в этой сфере необходимым условием является совместное согласованное развитие научных направлений, связанных с ИИ.

Искусственный интеллект в Республике Беларусь

Беларусь позиционируется в мире как страна с сильным ИТ-потенциалом и лидер по развитию технологий искусственного интеллекта [9]. Несколько лет назад в авторитетных международных изданиях она считалась центром ИИ в Европе [10]. Состояние дел в отечественной научной, образовательной и практической средах в области математики и информатики детально рассмотрено в работе [11]. Сегодня республика по-прежнему сохраняет высокий уровень высшего математического образования, что позволяет ей иметь сотни эффективно работающих ИТ-компаний. Более того, за прошедшие 20 лет в стране практически создана новая высокотехнологичная отрасль, которая вносит заметный вклад в ВВП. К тому же, по разным данным, в отечественном секторе информационно-коммуникационных технологий занято примерно 100 тыс. человек, из которых около 50 тыс. – в сегменте ИТ-продуктов и услуг.

За последние годы значительно расширился Парк высоких технологий, который нуждается в притоке молодых кадров. Совершенно естественно, что его пополнение зависит от образовательного уровня студентов и их математической подготовки, которая ведется на базе фундаментального математического и естественно-научного университетского образования [11].

Для Республики Беларусь искусственный интеллект остается областью стратегической важности, он замыкает технологический пакет нового экономического уклада и является ключевой технологией становления цифровой экономики страны. Поэтому, на наш взгляд, основные

усилия следует сосредоточить на таких направлениях ИИ, как поддержка и развитие научных исследований, разработка программных продуктов и технических решений, внедрение в учебный процесс новых программ, открытие специальных курсов переподготовки и повышения квалификации в сфере ИИ и совершенствование систем правового регулирования ИИ в повседневной жизни.

Значительные научные и практические результаты в области ИИ, достигнутые нашей страной, в основном шли по схеме «снизу–вверх», то есть ученые самостоятельно определяли спектр научных исследований, а компании так же автономно решали, какие интеллектуальные продукты им создавать и выводить на рынок. На этапе становления технологий ИИ как пионерных, инициативных проектов это было оправдано, но сегодня без наличия слаженной, скорректированной программы, учитывающей интересы государства и бизнеса, их дальнейший прогресс будет затруднительным. Необходима координация усилий всех заинтересованных сторон, разработка общей стратегии, начиная от образовательных программ до серьезных крупных научных и инновационных проектов и продуктов.

На наш взгляд, в нынешних реалиях роль государства в развитии ИИ должна стать определяющей, как и его господдержка. В этой связи представляется важным создание комитета или агентства по робототехнике и искусственному интеллекту либо в составе НАН Беларусь, либо ГКНТ, которое могло бы выполнять информационную, в том числе учетную и статистическую функцию, а также корректирующую, контрольно-надзорную.

Необходима госпрограмма развития искусственного интеллекта, но для ее разработки следует предпринять ряд мер:

- *создать Координационный совет по ИИ (к примеру, при Совете Министров Республики Беларусь под председательством вице-премьера). Этот шаг позволит скординировать и ускорить внедрение ИИ во все отрасли народного хозяйства;*
- *разработать Концепцию развития ИИ (этую задачу может выполнить специальная межведомственная группа под руководством НАН Беларусь);*
- *подготовить дорожную карту внедрения ИИ и стандартов применения систем и технологий ИИ в отраслях;*
- *создать Рабочую группу по формированию законодательной и нормативно-*

правовой базы ИИ при Администрации Президента Республики Беларусь или Министерстве связи и информатизации (без нормативно-правового регулирования будет очень сложно внедрять системы ИИ);

- *рекомендовать Министерству образования Республики Беларусь рассмотреть возможность более широкого изучения основ ИИ в вузах, причем не только студентами естественно-научных специальностей, но и гуманитарных, а также в старших классах школ в рамках предмета «Информатика» хотя бы в профильных классах.*

Предлагаемые меры позволяют активизировать работы в сфере искусственного интеллекта в стране.

Исходя из того, что технологический прогресс в Беларуси базируется на качественном образовании, научных исследованиях, ориентированных на получение конечного результата, и наличии современной производственной базы, а также развитого частного ИТ-сектора, считаем целесообразным придать государственный импульс отрасли для дальнейшего продвижения нашей страны в этой высокотехнологичной сфере. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абламейко С.В., Абламейко М.С. Искусственный интеллект в междисциплинарной перспективе: философско-правовые аспекты. Философские науки. 2021. №64(5). С. 57–70. <https://doi.org/10.30727/0235-1188-2021-64-5-57-70>.
2. Глобальный атлас регулирования искусственного интеллекта. Восточный вектор / под. ред. А.В. Незамова.– М., 2022.
3. IDC: Мировые расходы на искусственный интеллект удваиваются за четыре года, достигнув 110 млрд долл. в 2024 году // <https://www.crn.ru/news/detail.php?ID=147805>.
4. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е издание.– Москва, 2016.
5. Д.И. Дубровский. Задача создания Общего искусственного интеллекта и проблема сознания // Философские науки. 2021. Т. 64, №1. С. 13–44. doi: 10.30727/0235-1188-2021-64-1-13–44.
6. С.В. Абламейко. Искусственный интеллект в Беларусь – состояние и развитие // Наука и инновации. 2022. №5 (231). С. 36–40.
7. Гаврилова Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы: учебник / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев.– СПб., 2016.
8. Куклин В.М. Представление знаний и операции над ними: учебное пособие / В.М. Куклин.– Харьков, 2019.
9. Forbes: Беларусь становится мировым центром по разработке ИИ // <https://tvcnews.by/tech/13604-forbes-belarus-stanovitsja-mirovym-centrom-po-razrabotke-ii.html>.
10. «Столица европейского АИ»: в Беларусь больше 70 проектов в области искусственного интеллекта // <https://dev.by/news/ne-tolko-maski-na-polnoy-karte-belorusskikh-ii-proektov-bolshe-70-kompanij>.
11. С.В. Абламейко, М.А. Журавков. Математика и математики БГУ и Беларусь. 100 лет развития.– Минск БГУ, 2021 // <https://elib.bsu.by/handle/123456789/264446>.

Цифровые компетенции в профессиональной деятельности исследователей НАН Беларусь



Наталья Денисова,

научный сотрудник сектора научно-методического обеспечения ГСТИ отдела научно-методического обеспечения развития систем научно-технической информации Белорусского института системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы



Елена Мартищенко,

научный сотрудник отдела социальной теории и методологии Института социологии Национальной академии наук Беларусь

В ходе недавнего опроса исследователей, проведенного научными работниками БелИСА, цифровые компетенции трактовались как сочетание знаний и навыков использования современных технологий для выполнения различных задач в цифровой среде, а такие термины, как «цифровые навыки», «цифровая грамотность», «цифровая компетентность» рассматривались в качестве синонимов [1]. Применялась также теоретическая типология цифровых компетенций по области их употребления, в рамках которой были выделены базовые (для повседневной жизни) и специализированные (для трудовой деятельности).

Проведенный опрос строился на двух методиках: оценки базовой цифровой грамотности граждан Европейского союза [2] и «The Digital Competence Framework for Citizen 2.1» (DigComp 2.1) («Рамка цифровой компетенции для граждан 2.1») [3]. Авторам исследования пришлось их адаптировать под специфику научной деятельности из-за ряда недостатков:

- *универсальность обеих методик, не учитывающая особенность исследовательской работы. Так, например, в отношении специализированных компетенций*

Наука предъявляет высокие требования к знаниям, умениям и навыкам работников в конкретных областях, а на нынешнем этапе ученому необходимы также и развитые цифровые компетенции. Способность организовать работу в виртуальной среде, обработать электронные данные и представить результат научной деятельности в оптимальной форме дает серьезные конкурентные преимущества любому исследователю, а также существенно облегчает выполнение задач.

В настоящее время существует некоторый информационный вакuum в вопросе о цифровых компетенциях белорусских ученых, а без этих сведений и предпринятых мер по улучшению ситуации невозможно осуществить подлинную качественную цифровую трансформацию науки. Ведь в конечном итоге именно имеющиеся навыки персонала будут определять, насколько себя окупят ресурсы, вложенные в материально-техническое обеспечение цифровизации науки.

- оценивается умение создавать музыку с помощью особого программного обеспечения, но отсутствуют вопросы об умении обрабатывать массивы данных посредством разных инструментов (приложений, библиотек кода и пр.), что для ученого более актуально;
- использование разных критериев оценки уровня цифрового навыка. Так, в методике *DigComp 2.1* в зависимости от ситуации затрагивались разные аспекты владения навыком: знание о возможностях («Я знаю о возможностях организовывать электронную совместную работу над документом»), умение использовать («Я умею создавать электронные презентации»), частота совершения действия («Я всегда проверяю дату публикации...»). Это усложняет сравнение разных позиций, так как возникает вопрос, можно ли приравнивать перечисленные компетенции друг к другу. Целесообразной видится унификация критерия оценки (например, и знания, и умения применять навык);
 - введение дихотомических шкал («да» и «нет») в вариантах ответа при наличии разной модальности у вопросов. Так, в одном случае формулировка может быть нейтральной: «Я знаю, как работают различные лицензии на цифровой контент...», а в другой – содержащей указание на уровень владения навыком: «Я хорошо разбираюсь в том, как выставлять настройки доступа для документов...». Более подходящей была номинальная шкала с 3–4 вариантами ответов, охватывающими диапазон оценок владения навыком;
 - большое количество вопросов при отсутствии более компактной версии. Полный опрос

ный лист указанных методик достаточно велик, что затрудняет его использование в опросах-омнибусах, которые объединяют ряд тематик.

Следует отметить и ключевое преимущество рассмотренных методик: возможность расчета агрегированных показателей уровня развития цифровой компетенции как в отдельной тематической области, так и в целом в рамках своего типа (базовых либо специализированных). В результате можно получить интегральную оценку компетенций как отдельного человека, так и группы опрошенных.

- организация совместной работы ученых с общими данными, документами в цифровой среде (область «Совместная работа»);

- использование навыков программирования для анализа данных и автоматизации рабочих процессов (область «Программирование»).

Другие аспекты, например кибербезопасность, остались за рамками опроса, так как они носят по отношению к научно-исследовательской деятельности скорее вспомогательный характер и не влияют напрямую на предмет и результат труда.

Степень владения отдельным навыком респондент оценивал по следующей шкале: «Ничего не знаю об этом», «Не знаю, как это сделать», «Могу сделать это со сторонней помощью» и «Могу сделать это сам». Таким образом, использовался гибридный критерий оценки – одновременное сочетание знания и разной степени умения применять те или иные навыки. При определении уровня цифровой грамотности по всей их совокупности в каждой области предлагается применение следующей шкалы:

- **нулевой уровень** – по всем оцениваемым навыкам респондент отметил, что «ничего не знает, как это сделать»;
- **средний уровень** – опрошенный лишь по части навыков отметил, что «может сделать это сам», остальными он либо не владеет, либо может их применять только с посторонней помощью;
- **высокий уровень** – по всем оцениваемым навыкам респондент «может сделать это сам».

В свою очередь при оценке общего уровня цифровых компетенций в профессиональной

Аспекты авторского подхода

Опыт применения данных методик и полученные результаты стали основой для разработки авторского подхода к оценке профессиональных цифровых компетенций ученых. В его рамках цифровая грамотность интерпретируется как способность индивида решать задачи профессионального характера с использованием различных видов цифровых технологий. В свою очередь, более частное понятие «цифровой навык» определяется как практическое умение справиться с конкретной проблемой с помощью определенного вида ИТ.

Разработанный авторами тематический блок вопросов охватывает 4 основных области применения цифровых навыков в научной деятельности:

- **создание цифровых документов для представления полученных результатов** (область «Создание документов»);
- **обработка и анализ первичных данных с помощью цифровых технологий** (область «Работа с данными»);

научной деятельности используется шкала из пяти уровней:

- *нулевой – во всех четырех областях продемонстрирован нулевой уровень компетенций;*
- *базовый – ни в одной из четырех областей респондент не имеет высокого уровня компетенций, однако в одной или нескольких владеет навыками на среднем уровне;*
- *ниже среднего – участник опроса проявил только в одной области из четырех высокий уровень компетенций;*
- *средний – опрошенный имеет высокий уровень компетенций в двух областях из четырех;*
- *высокий – респондент владеет на высоком уровне цифровыми навыками по всем областям*

либо в большинстве из них (трех из четырех).

Разработанный подход был использован в рамках исследования, проведенного Институтом социологии НАН Беларусь в октябре – ноябре 2022 г. Объем выборочной совокупности составил 366 человек, предельная ошибка выборки не превышает $\pm 4,9\%$ с доверительной вероятностью 95%.

По данным 2020 г., в организациях НАН Беларусь, которая состоит из семи отделений наук, работали 30,7% всех отечественных исследователей [4, 5]. В целом для Академии, как и для всей страны, характерно доминирование в численности кадров представителей естественных и технических наук при доста-

точно низкой доле гуманитарных, социально-экономических и общественных наук (в 2020 г. только 10,5% исследователей работали в организациях Отделения гуманитарных наук и искусств). Таким образом, изучение цифровых компетенций академических исследователей представляет особый интерес, так как именно НАН Беларусь выступает флагманом национальной науки.

Результаты опроса исследователей НАН Беларусь

Согласно данным, представленным на *рис. 1*, подавляющее большинство опрошенных умеют создавать тексты, презентации и использовать возможности работы с данными в электронных таблицах. Следует отметить, что эти навыки тесно связаны с распространенным программным обеспечением – пакетом приложений Microsoft Office. В то же время только около половины респондентов отметили, что могут без посторонней помощи применять специальные программы для визуализации данных (45,4%) и профильные для своей профессиональной области программы для работы с ними (57,1%).

Что касается совместной деятельности, то можно отметить достаточно высокую степень освоения навыков работы с документами в облачных хранилищах и сервисами организации удаленного совместного доступа (самостоятельно их могут применять 71,5% и 62,8% опрошенных). Однако только каждый второй может без посторонней помощи использовать репозитории с базами данных исследований.



Рис. 1. Доля исследователей, которые могут самостоятельно либо со сторонней помощью применять цифровые навыки

Наиболее низкая цифровая грамотность продемонстрирована в области программирования: общая доля тех, кто может самостоятельно либо со сторонней помощью применять языки программирования для анализа данных и создавать собственные приложения, составила менее 40%. При этом следует отметить, что лишь около 15% ничего не знают о подобных возможностях, а доля тех, кто не использует навыки программирования в своей работе, составила около половины опрошенных (рис. 2).

В целом можно констатировать достаточно высокую информированность ученых о возможностях использования предложенных к оценке цифровых навыков. За исключением программирования, только по двум навыкам доля опрошенных, которые ничего о них не знают, превысила 10% (применение репозиториев баз данных и специальных приложений для визуализации данных), и по ним же зафиксирована наибольшая доля тех, кто не знает, как их задействовать в своей деятельности (около 10%).

Следует отметить, что для трех областей (организация совместной работы, создание документов и обработка данных) характерна зависимость цифровой грамотности от возраста ученого: чем он старше, тем ниже уровень указанных компетенций. В качестве примера этой зависимости на рис. 3 представлены сведения об умении трех возрастных групп респондентов использовать цифровые навыки в области организации совместной работы.

С одной стороны, среди молодежи (до 35 лет), по сравнению со старшим поколением (46 лет и старше), больше доля лиц, которые могут самостоятельно применять указанные на рис. 3

навыки. С другой – среди старших по возрасту больше тех, кто готов использовать их со сторонней помощью, что позволяет им компенсировать пробелы в знаниях и умениях и уменьшать разрыв с молодыми во владении цифровыми технологиями. В результате общая доля тех, кто может применять навыки самостоятельно либо с чьей-то помощью, существенно не различается по возрастным группам (например, применительно к облачным хранилищам эта доля колеблется от 87,5% у старшей возрастной группы до 96,8% у младшей).

Единственной областью цифровых компетенций, в которой различия по возрасту не столь заметны, является программирование (рис. 4). Только около

40% исследователей в каждой группе придерживаются мнения, что могут сами либо со сторонней помощью автоматизировать свои рабочие процессы посредством создания собственных приложений. Навыком самостоятельного использования языков программирования, библиотек кода для анализа данных владеет примерно каждый десятый ученый вне зависимости от своего возраста. Здесь различия сказываются только в готовности применять эти навыки со сторонней помощью: если среди молодых респондентов примерно каждый третий считает, что способен на это, то среди старшего поколения – только каждый пятый.

Как отмечалось ранее, большинство исследователей НАН

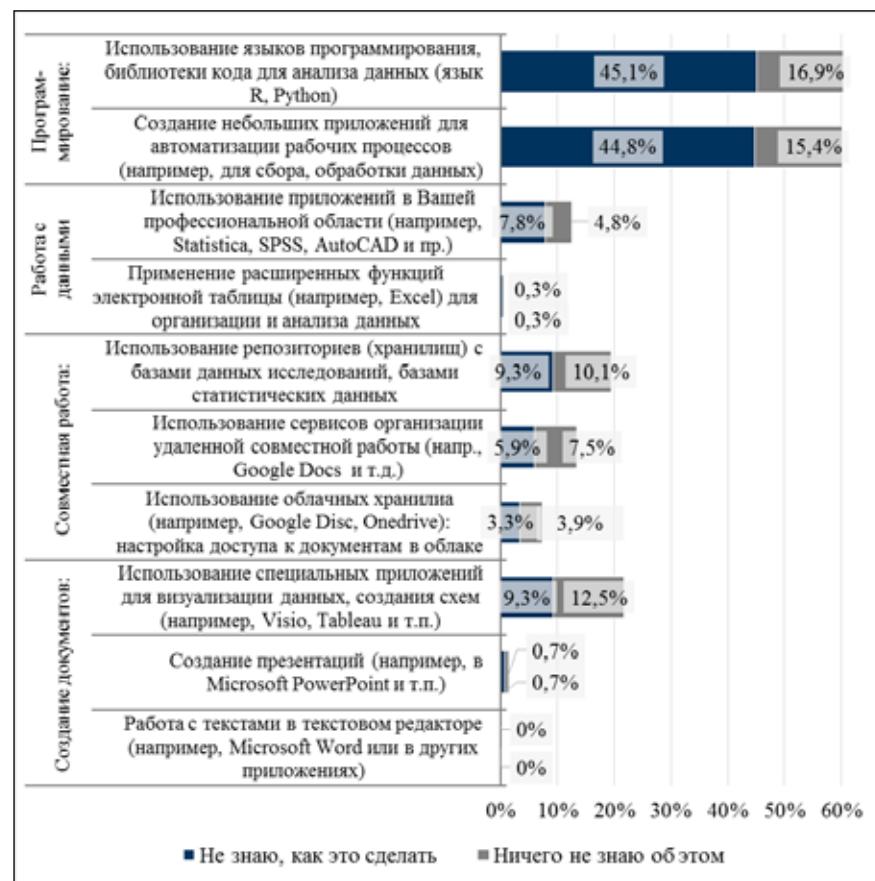


Рис. 2. Доля исследователей, которые не умеют использовать либо ничего не знают о цифровых навыках

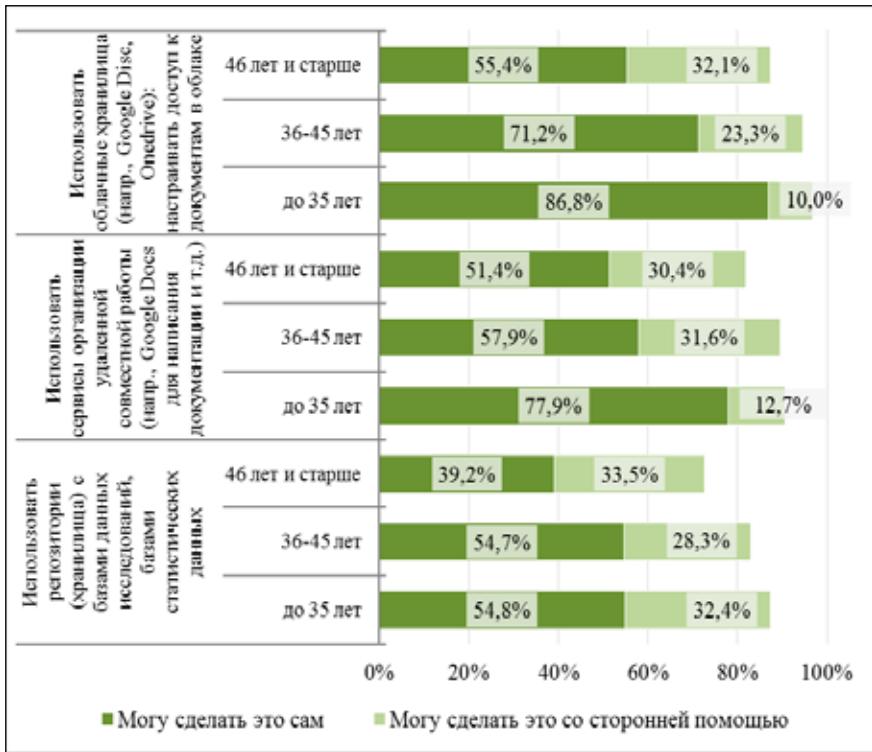


Рис. 3. Доля исследователей, которые могут самостоятельно либо со сторонней помощью применять цифровые навыки в области организации совместной работы

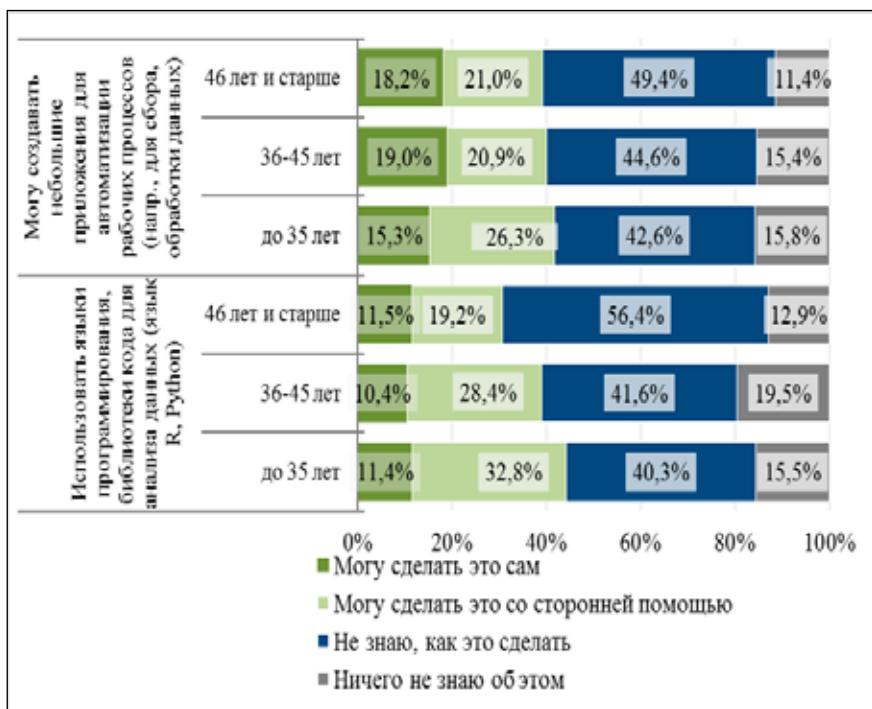


Рис. 4. Структура исследователей по использованию цифровых навыков в области программирования

Беларуси относится к представителям естественных и технических наук, следовательно, можно предположить, что для многих из них навыки программирования могли бы быть крайне полезны в профессиональной деятельности. Однако их освоение, несомненно, требует от человека больше усилий, нежели обучение работе с отдельным программным продуктом (наподобие Tableau или AutoCAD). С учетом того, что курсы программирования в профессиональной области есть далеко не во всех программах подготовки по специальностям высшего образования, развитие таких навыков зачастую остается личным делом каждого работника. В результате в этой области молодые ученые не имеют сильных преимуществ перед старшим поколением.

Перейдем к более обобщенному уровню анализа – к сравнению цифровой грамотности на уровне областей применения соответствующих навыков. На рис. 5 представлены результаты расчета обобщенной оценки уровня компетенций в каждой отдельной области. Как видно, у примерно половины исследователей НАН Беларуси он высок при работе с данными и в создании документов (53,4% и 45,0% соответственно). Другими словами, примерно каждый второй опрошенный может использовать не только наиболее популярные приложения (наподобие Microsoft Office), но и владеет умениями самостоятельной работы в специализированном программном обеспечении.

Несколько хуже показатели в области организации совместной работы: доля лиц, обладающих высоким уровнем компетенций, здесь ниже, есть и относи-

тельно небольшая группа тех, кто имеет нулевой уровень (5,8%).

Во всех трех рассмотренных областях (работа с данными, создание документов и совместная работа) примерно каждый второй обладает средним уровнем компетенций, то есть владеет лишь частью предложенных к оценке навыков самостоятельного использования. Как отмечалось выше, большую часть этой группы составляют лица старших возрастов.

Ситуация с навыками в области программирования совершенно иная. Здесь лишь около 10% исследователей имеют высокий уровень, а примерно каждый второй – нулевой. Исправить такое положение дел, на наш взгляд, можно только посредством целого комплекса действий: от изменения существующей системы подготовки специалистов в высшем образовании до создания специализированного научного контента для ключевых отраслей науки, его популяризации и обеспечения доступности для максимально широкого круга ученых.

Предложенный нами подход к оценке цифровых компетенций предполагает также возможность дать общую оценку цифровой грамотности в научной деятельности. Результаты расчетов представлены на *рис. 6*.

Нулевую цифровую грамотность не продемонстрировал ни один из опрошенных. Вместе с тем среди исследователей НАН Беларусь значительная доля (29,4%) имеет базовый уровень, то есть не продемонстрировала высокую степень компетенций ни в одной области. Это означает, что их знания и умения неполны, они не могут использовать все предложенные для оценки навыки самостоя-

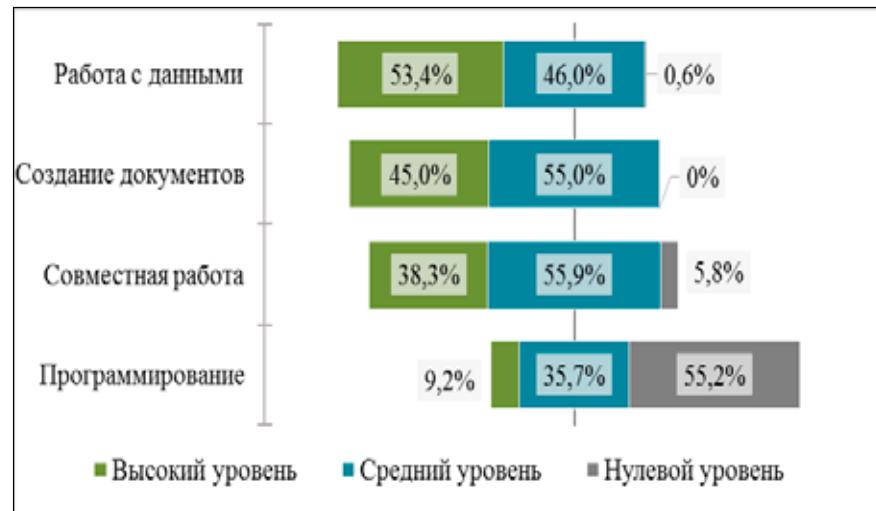


Рис. 5. Структура исследователей по уровню цифровых компетенций в четырех областях их использования

тельно, а о части из них могут вообще ничего не знать. Также следует отметить, что доля лиц с базовым уровнем цифровой грамотности увеличивается в старших возрастных группах, достигая 41,6% среди респондентов 46 лет и старше.

Следующая по нашей шкале ступень цифровой грамотности «ниже среднего» говорит о том, что исследователи владеют компетенциями на высоком уровне только в одной области из четы-

рех. Его имеют 24,0% опрошенных, при этом следует отметить отсутствие здесь зависимости от возраста: в каждой из трех возрастных групп к этой категории относится примерно четверть респондентов. Предположительно это обусловлено тем, что в определенных сферах науки для выполнения профессиональных задач достаточно обладать высоким уровнем компетенций лишь в одной из областей, а об остальных иметь лишь

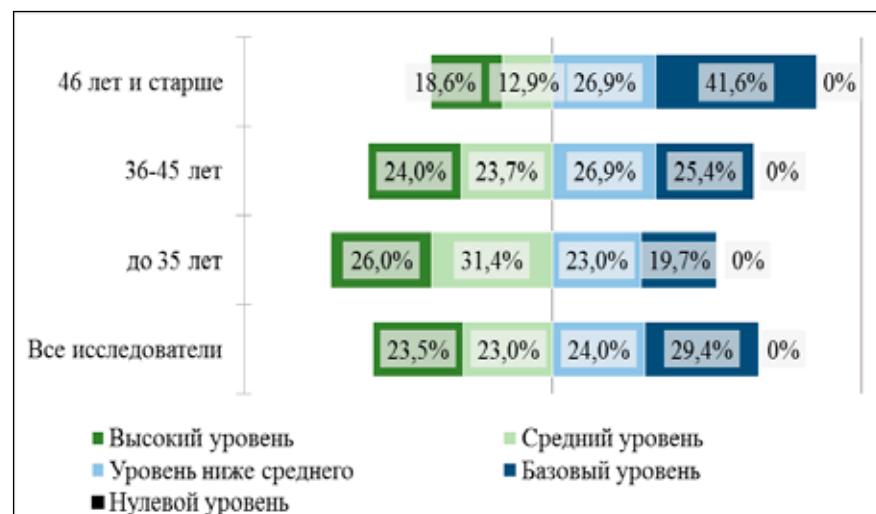


Рис. 6. Структура исследователей по общему уровню цифровых компетенций в научной деятельности

общее представление. Так, например, ученый может хорошо освоить программы для работы с данными (как общего назначения, так и специализированные), однако располагать лишь базовыми знаниями о том, как делать презентации, и предпочитать в случае необходимости обратиться за помощью к коллегам, образовательным ресурсам. Данное замечание является гипотезой и требует дополнительной проверки.

В отличие от ступени «ниже среднего» в распределении исследователей более высоких уровней цифровой грамотности прослеживается зависимость от возраста. Так, если среди респондентов 35 лет и старше примерно каждый второй имеет средний либо высокий уровень, то среди ученых от 46 лет – только примерно каждый третий. Старшее поколение застало активную цифровизацию всех сфер общества уже в зрелом возрасте, а не выросло, как молодое, в этой среде. Учитывая это, можно предположить, что при более низком уровне цифровых компетенций ученые старших возрастов в целом склонны проявлять меньшую активность в освоении информационных технологий, и лишь относительно небольшая их доля (18,6%) смогла достигнуть среднего и выше уровня цифровой грамотности в научной деятельности.

Выводы

По уровню цифровой грамотности исследователи НАН Беларуси разделились примерно на равные подгруппы. С одной стороны, чуть меньше половины (46,5%) имеют средний уровень и выше, хорошо владея компетенциями в двух и более областях применения цифро-

вых технологий. С другой, 53,4% обладают уровнем ниже среднего либо базовым. Это означает, что каждый второй опрошенный имеет навыки самостоятельной работы только в одной области либо неполные знания и навыки во всех областях и может применять их только со сторонней помощью.

Также можно констатировать, что есть существенный потенциал повышения цифровой грамотности среди ученых, и ее уровень связан с их возрастом. Для старших групп (46 лет и более) по сравнению с молодыми исследователями (до 35 лет) свойственна меньшая доля лиц со средним и высоким уровнем цифровой компетенции.

Из четырех проанализированных областей применения цифровых навыков в трех (работа с данными, создание документов и организация совместной работы) практически отсутствуют исследователи с нулевым уровнем компетенций (их 5,8% и менее). При этом около половины имеют средний уровень в каждой из трех областей, что означает самостоятельное владение лишь частью навыков. Здесь также проявляется зависимость от возраста: ученые старших возрастов чаще готовы прибегать к сторонней помощи.

Наиболее непростая ситуация сложилась в четвертой области – программировании. Примерно каждый второй респондент (55,2%) здесь обладает нулевыми компетенциями и всего 9,2% могут применять навыки на высоком уровне (полностью самостоятельно). Данная ситуация характерна для всех возрастных групп.

Таким образом, есть основания предполагать, что создание условий для развития цифровых компетенций ученых в формате образовательного контента,

курсов повышения квалификации, открытых семинаров может быть востребованным направлением поддержки цифровой трансформации науки. При этом следует учитывать более низкую информированность и владение специализированным программным обеспечением в таких областях применения цифровых навыков, как работа с данными, создание документов и организация совместной работы, и ориентировать усилия в первую очередь на ученых старших возрастов. Что касается навыков программирования, то их применение предполагает, как правило, более высокий порог требований к ученому, нежели освоение отдельного приложения. Кроме того, они имеют разную степень востребованности в конкретных областях науки. С учетом этого мероприятия по повышению цифровой грамотности ученых в области программирования требуют точечных решений, должны ориентироваться на исследователей всех возрастов, в профессиональной деятельности которых эти навыки наиболее востребованы. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Н. Бондарева. Цифровые навыки и компетенции научного сообщества Республики Беларусь / Н. Бондарева, Н. Денисова, А. Колозина // Наука и инновации. 2022. №11(237). С. 44–51.
2. The Digital Economy and Society Index (DESI) // <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>.
3. DigComp 2.1 The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use // <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC106281>.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2022.
5. Отчет о деятельности Национальной академии наук Беларусь в 2020 году. – Минск, 2021.

БОЛЬШАЯ ТЕОРИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВЗРЫВА

Как молодой ученый модернизирует
самые консервативные в мире технологии,
превращая разрушительные силы в созидательные

Слово «взрыв» у подавляющего большинства людей мгновенно вызывает вполне определенные ассоциации, связанные с катастрофой. Но как ни удивительно, явление, им обозначаемое, нередко применяется в самых мирных, практических и созидательных целях.

Ученые давно научились не только вызывать быстрые физико-химические реакции веществ, но и выгодно их использовать. Например, для улучшения качества материалов, из которых затем будут изготовлены машины, созданы средства связи, построены новые здания. И даже первое, что приходит на ум в отношении направляемой энергии взрывной волны в мирном русле, – снос устаревших конструкций, – не только зрелище, способное вызвать любопытство у обывателя, но прежде всего действие, призванное посредством разрушения старого расчистить место для нового, современного, актуального.



Владислав Семашко,
заведующий НИЛ-71
НИИ импульсных процессов с
опытным производством

Физика взрыва – отдельный и достаточно большой раздел прикладных наук, в котором, несмотря на устоявшиеся теории и технологии, все еще находится место новизне и исследовательскому поиску. Именно этим и занимается наш сегодняшний герой, чьи научные разработки были отмечены присуждением премии имени академика Ж.И. Алферова для молодых ученых НАН Беларусь в области физики, математики, информатики, физико-технических и технических наук (2020 г.), а также выдвижением для получения государственной награды – медали Франциска Скорины (2022 г.).

Краткая справка

Владислав Викторович Семашко – один из самых молодых руководителей научных лабораторий в нашей стране. Родился в Оршанском районе Витебской области в 1988 г. После школы поступил в БГАТУ. В 2011 г. с отличием окончил обучение в университете, в 2012 г. магистратуру, в 2015 г. аспирантуру (кафедра технологии металлов). Начал трудовую биографию уже во время учебы в качестве младшего научного сотрудника технологического научно-практического центра родного вуза (ноябрь 2011 г.), затем с декабря 2012 г. по июнь 2019 г. прошел путь от младшего научного сотрудника лаборатории композиционных материалов и обработки взрывом (НИЛ-71) до ее заведующего, на должности которого работает в НИИ импульсных процессов с опытным производством (НИИ ИП с ОП) – подразделении Института порошковой металлургии им. академика О.В. Романа НАН Беларуси и сегодня.

Сразу отметим: в жизни этого молодого ученого наука и появилась внезапно, словно взрыв. Хотя на самом деле, если присмотреться повнимательнее, достижению положительных результатов работы и росту карьеры предшествовал долгий путь, полный ежедневного труда и упорных усилий. И однажды они, говоря языком физики, сдентонировали, вызвав цепную реакцию дальнейших событий...



Председатель Президиума НАН Беларуси В.Г. Гусаков вручает Владиславу Семашко диплом лауреата премии им. Жореса Алфера, Минск, 2020 г.

Вообще, эта история видится поучительной и обнадеживающей. Каждому, кому кажется, что его поиски – себя ли, своего жизненного пути или, как модно сейчас говорить, предназначения – слишком затянулись и не дают результатов, должен понять: ничего не происходит зря – каждый наш шаг в будущее, каждый наш выбор чрезвычайно важен.

Из чего выплавляется мастерство

Есть виды работ, которые невозможно выполнить на должном уровне, не обладая определенными качествами: например, ответственностью, скрупулезностью, аналитическим складом ума, наблюдательностью. Уже учась в аспирантуре, а тем более после ее окончания, с присвоением ему официально звания исследователя, Владислав становится ответственным исполнителем по ряду исследовательских работ. Многие из них касаются новых мате-

риалов и технологий, призванных решать проблемы ресурсосбережения. Молодой ученик трудится, как сказано в задании госпрограммы, над «получением слоистых антифрикционных и износостойких композиционных материалов и изделий из них с использованием методов импульсного высокоэнергетического воздействия». Из этих долговечных биметаллических материалов затем изготавливаются те части машин, которые подвергаются ударным нагрузкам и абразивному изнашиванию.

Владислав Семашко работает над особыми видами детонирующего заряда по заказу предприятий государственного военно-промышленного комплекса Республики Беларусь, например таких, как РПУП «Завод точной электромеханики» и НПООО «ОКБ ТСП». Создает новые технологии и материалы, в том числе композиционные, с применением энергии взрыва для производственных подраз-

делений Министерства промышленности Республики Беларусь, участвует в выпуске отечественного беспилотника с ЗАО «АЭРОМАШ».

Реализованные идеи молодого ученого уже сегодня служат благородному делу – обеспечению белорусских заводов композиционными материалами, в том числе электротехнического назначения (следует отметить, что они поставляются и иностранным заказчикам), разработке материалов и технологий для повышения обороноспособности государства. Кроме исследований лаборатория, руководимая Владиславом Викторовичем, проводит работы по демонтажу зданий и сооружений любого уровня сложности и другие подобные мероприятия.

Несмотря на кажущуюся двойственность своего труда (а физика взрыва всегда будет восприниматься как «технология двойного назначения» и «палка о двух концах»), для написания диссертации на основе многолетних исследований Владислав выбрал тему, которую начал на этапе своего научного становления. В диссертации он обосновывает принципы «повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин высокоенергетическим импульсным нагружением». Этот метод изобретен для того, чтобы получать «высокоресурсные биметаллические изделия повышенной износостойкости с применением импульсных технологий – сварки взрывом и импульсной закалки высокоскоростным охлаждением жидкостью».

Разработанные молодым ученым и возглавляемым им коллективом композитные металлы



Сотрудники НИЛ-71 ОХП «НИИ ИП с ОП» Кожан Е.А., Рудько Ю.Г., Смирнов Г.В., Демидов Д.В., Силин В.В., Жук К.А., Сычев Д.И., Ткачук В.С., Колгашкин Е.В.

стали материалом для высокоресурсных изделий, обладающих свойством самозатачивания, узлов машин, а также запасных частей для их ремонта.

Результаты труда исследователя прошли апробацию на международных конференциях и опубликованы в научных изданиях, сборниках научных трудов, учебно-методическом пособии, а некоторые принесли ученым патенты на изобретения. Например, с 2011 г. по 2015 г., будучи еще младшим научным сотрудником, он уже являлся ответственным исполнителем работ по ГНТП «Ресурсосбережение, новые материалы и технологии – 2015», в частности ее подпрограммы «Защита поверхностей». Перед молодым ученым стояла задача, свя-

занная с разработкой структур, составов и технологии получения слоистых антифрикционных и износостойких композиционных материалов и изделий из них с использованием методов импульсного высокоенергетического воздействия. В итоге взрывные технологии дали возможность построить современную технику для отрасли, которая дает жизнь всем нам – говоря простым языком, кормит страну.

Диалектика в действии

«Принуждение» веществ к реакции мгновенного перемещения, особого вида горения, поддерживаемого благодаря им же вызываемой взрывной волне, приведение в движение



Взрывной демонтаж аварийного здания в Оршанском районе

невидимых молекул и атомов выглядит как создание человеком отдельной микровселенной.

Применение связанного с ней «разрушительного созидания» в хозяйственных целях – это не только снос старых зданий, но и, к примеру, прокладка тоннелей для строительства шоссейных или железных дорог, когда вкупе с перепадами рельефа на местности имеется еще и массив твердых пород. На самом же деле сфера приложения сил детонации в обычной жизни гораздо шире, а мирный взрыв – самая что ни на есть живая иллюстрация законов диалектики.

Прежде всего, по словам Владислава Семашко, основной сферой деятельности его лабо-

ратории является «разработка специальных технологий изготовления высокоэнергетических композиционных и взрывчатых материалов, а также изделий, их содержащих».

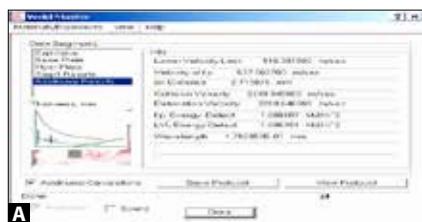
Это не только определение составов и технологий, но и методик испытаний, а также проведение последних. Все это – «неотъемлемая часть выполняемых работ», поясняет наш герой. Кроме уже упомянутого сноса сооружений, при выполнении контрактов и хозяйственных договоров находят свое применение и сварка взрывом, и взрывное прессование, и детонационный синтез. Ценность таких технологий состоит в том, что во многих случаях в производстве они незаменимы.

– Например, сварка взрывом – метод, позволяющий соединить между собой разные металлы или вовсе создать материал в виде многослойного «пирога», – поясняет Владислав Викторович. – Такой материал будет обладать свойствами сразу всех включенных в него элементов и в то же время – совершенно уникальными характеристиками.

С этой же целью лаборатория занимается синтезом наночастиц в виде порошков. Получаемые здесь материалы используются для создания новых машин или их частей, средств связи, диагностической аппаратуры для медицины и в других сферах. И, конечно, именно здесь они проходят свои первые испытания, позволяющие убедиться в совершенстве деталей либо, наоборот, внести определенные изменения в них.

Неслучайная случайность

Владислав Семашко не мечтал стать ученым с детства – наоборот, получилось так, что, по его признанию, науку выбрал совершенно случайно. «После окончания университета находился в полнейшем непонимании, где и как себя реализовать», – признается он. Надо сказать, что при этом молодой человек, выбрав БГАТУ, окончил университет с отличием. Естественным желанием стало продолжить образование в магистратуре и аспирантуре. Не удивительно, что вскоре талантливый и добросовестный выпускник обрел в родном вузе и первое рабочее место: преподаватели обратили внимание на его старательность и явную тягу к исследованиям. Но даже



Основные технологические операции изготовления биметаллического диска дисковата: а) диалоговое окно сварки взрывом: программа расчета режимов; б) сварка взрывом биметалла; в) нагрев заготовки после раскрова и профилирования; г) закалка с высокоскоростным охлаждением в потоке жидкости; д) извлечение заготовки из закалочного штампа; е) установленный рабочий орган на агрегате

тогда Владислав еще не думал о серьезной научной карьере.

– Однако во время обучения в магистратуре и аспирантуре, практики в НИЛ-44 (в дальнейшем переименована в НИЛ-71) интерес к науке просыпался все больше и больше, – вспоминает сегодня ученый. – Получив повышение до заведующего лабораторией, понимая, что результат работ зависит в основном только от тебя, ответственного исполнителя, я вдруг оказался в своей тарелке. Я понял, что это действительно мое.

Владислав не задумывается о том, трудно ему даются достижения или легко. «Если подходить ответственно к работе, постоянно повышая свой уровень, результат не заставит себя долго ждать», – делится опытом исследователь, заодно превентивно опровергая стереотипы некоторых скептиков: «Следует отметить, что и материальное благополучие, а это немаловажно для молодого ученого, зависит от качественного подхода к поставленной задаче, умения получить результат на перспективу». Не только справедливый и ответственный – здравый и предусмотрительный подход.

Благодарность первооткрывателям

На вопрос, кто первым его «открыл» – заметил талант к науке, Владислав сразу же называет своего руководителя Александра Федоровича Ильющенко: «Это человек, который принял меня в большой коллектив Института порошковой металлургии имени академика О.В. Романа, доверил в меня, доверил выполнение очень ответственных работ,



А



Б

Биметаллические образцы изделий с самозатачивающейся режущей кромкой:
а) номенклатура изделий по типоразмеру, б) структура режущей кромки

результаты которых зависели от потенциала, знаний, ответственности исполнителя.

Из преподавателей следует отметить Бетеню Григория Филипповича (технологии ремонта машин), Капцевича Вячеслава Михайловича (технологии металлов), Галенюк Галину Анатольевну (начертательная геометрия и инженерная (компьютерная) графика). Лекционные и практические занятия со специалистами такого уровня и опыта были для меня познавательными и полезными». И тут же просит прощения за то, что не перечислил всех остальных доцентов и профессоров: как-никак, больше 10 лет прошло, всех и не вспомнить...

Ученый не забывает практически о каждом своем коллеге всех рангов из дружного научного коллектива, в котором не первый год трудится:

– Что касается знаний и мудрых советов, которые помогали и помогают мне при работе в научной сфере, то здесь хочу отметить Судник Ларису Владимировну, Ваньковича Анатолия Степановича, Смирнова Геннадия Васильевича, Петрова Игоря Валентиновича и многих других. Это специалисты, которые плечом к плечу каждый день со мной, помогают организационно, идеально, теоретически и практически. Мой труд не был бы таким



Работа на участке изготовления высокоэнергетических композиционных материалов

результативным, если бы этих людей не было бы рядом.

А еще Владислав поддерживает и благодарит молодежь, подающих надежды молодых ученых Силина Владимира Валерьевича и Демидова Дмитрия Владимировича:

– Это, можно сказать, мои руки в лаборатории! Практическая реализация поставленных задач зависит в большинстве случаев от этих ребят...

В науке принцип «не сотвори себе кумира» не всегда действует так же, как в обычной жизни. Здесь путеводная звезда важна и нужна. Таким ориентиром на горизонте научных поисков и просто примером ученого для Владислава служит академик А.Ф. Ильющенко: «Равняюсь именно на него – как на ученого и как на руководителя. Полученные Александром Федоровичем результаты заставляют меня не сидеть на месте, а двигаться вперед и повышать свой уровень».

Куда движется орбита науки

«Ученый должен быть трудоспособным, ответственным, коммуникабельным, обучаемым, – считает Владислав Викторович, – всегда стремиться к достижению результата. Он постоянно должен пополнять свой багаж знаний. Иметь большой опыт, а также уметь им обмениваться и делиться». Последнее чрезвычайно важно, учитывая его опыт учебы, а затем работы в лаборатории – опыт сотрудничества с разными поколениями исследователей как из вузовской, так и академической сферы.

Однако исследования, которыми занимается наш герой, обладают некоторой спецификой. «Основная трудность при

проведении исследований, которые выполняются под моим руководством, – безопасность выполнения экспериментов и испытаний, – отмечает Владислав. – Работа со взрывчатыми материалами предъявляет жесткие требования к исполнителю, оборудованию, месту проведения. Качественная подготовка эксперимента, учет всех факторов риска являются залогом безопасности и успеха в данном направлении деятельности».

Несмотря на весь консерватизм той области науки, в которой задействован Владислав Семашко, точно сказать, что ее технологии останутся неизменными, он ни в коем случае не берется. Ведь как невозможно остановить саму жизнь, так и практически нереально нажать на невидимую кнопку «реверс» для научно-технического прогресса. А общий тренд на мультидисциплинарность в новейших исследованиях с ее взаимопроникновением массива знаний из разных областей и вовсе сводит эту незыблемость лишь к незыблемости самых основ. Творческая и интеллектуальная работа ученых, их умы и сердца творят порой настоящие чудеса, и это не сказка, а реальность.

– Какими Вы мечтаете видеть достижения своей области науки в будущем – например, через 20 или 50 лет? А можно ли представить, что будет 100 лет спустя, или эта область настолько изменится, что сейчас даже вообразить невозможно? – по уже сложившейся традиции спросила я молодого ученого.

– На этот вопрос сложно ответить, так как никто не знает, что будет завтра, – рассудительно и взвешенно

отвечает наш герой. – Мечтаю видеть свою лабораторию, да и институт в целом в ближайшие годы на передовых позициях как разработчиков изделий и технологий, используемых для повышения обороноспособности государства, его продовольственной безопасности.

В то же время взрывные технологии, оглядываясь назад, коренным образом не изменились, говорит Владислав. «Технологические приемы, материалы и методы исследования, разработанные в 70–80-е гг., применяются и в настоящее время. Изменится ли что-то через 20 лет? Думаю, нет. Через 50 лет? Не уверен». Вероятно, будут совершенствоваться детали, оттачиваться нюансы, чтобы потом стать частью новых разработок.

И все-таки хочется добавить: самое важное – то, какчество распорядится уже накопленным практическим опытом.

Вместо послесловия

Каждый год тысячи людей мигрируют по странам и континентам в поисках лучшей жизни. Профессиональная самореализация – пожалуй, одна из основных ее составляющих. Коснулись эти тенденции и Беларусь. Однако пример нашего героя заставляет задуматься.

Может быть, вовсе не обязательно уезжать «за семь морей» для того, чтобы проявить свои таланты и способности? Чтобы их заметили и оценили? Ведь вполне возможно, что принести больше пользы – себе, другим, любимой стране – получится и на родине, если, продолжая жить и работать здесь, чувствуешь себя по-настоящему дома?..

Технологии искусственного интеллекта в мониторинге патоморфологических изменений центральной нервной системы при рассеянном склерозе

Александр Федулов,
заведующий
кафедрой нервных
и нейрохирургических
болезней Белорусского
государственного
медицинского
университета, доктор
медицинских наук,
профессор;
fedulov@tut.by

Григорий Карапетян,
заведующий
лабораторией
информационных
и компьютерных
технологий НИЧ БГМУ

Иван Косик,
старший научный
сотрудник
лаборатории
информационных
и компьютерных
технологий НИЧ БГМУ

Алексей Борисов
профессор
кафедры нервных
и нейрохирургических
болезней БГМУ, доктор
медицинских наук,
доцент

Ксения Благочинная,
ассистент
кафедры нервных
и нейрохирургических
болезней БГМУ

Наталья Волкова,
ассистент
кафедры нервных
и нейрохирургических
болезней БГМУ

Аннотация. Представлен один из вариантов автоматизации процедур оценки получаемых при использовании магниторезонансной томографии (МРТ) изображений головного мозга пациентов, страдающих одним из самых тяжелых заболеваний центральной нервной системы (ЦНС) – рассеянным склерозом (РС).

Ключевые слова: рассеянный склероз, магниторезонансная томография, автоматическая сегментация, искусственный интеллект.

Для цитирования: Федулов А., Карапетян Г., Косик И., Борисов А., Благочинная К., Волкова Н. Технологии искусственного интеллекта в мониторинге патоморфологических изменений центральной нервной системы при рассеянном склерозе // Наука и инновации. 2023. №2. С. 75–83. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-75-83>

Рассеянный склероз – хроническое иммуно-опосредованное, демиелинизирующее, нейродегенеративное заболевание со сложной патофизиологией, поражающее центральную нервную систему. В настоящее время в мире насчитывается около 3 млн пациентов с РС, подавляющее большинство из которых молодого и среднего возраста.

Гетерогенность клинической картины рассеянного склероза может осложнить его диагностику, которая обычно достигается сочетанием оценки паттерна неврологической симптоматики, магнитно-резонансной томографии и данных лабораторного исследования спинномозговой жидкости [1].

Томография является важным инструментом в диагностике и мониторинге лечения пациен-

тов с РС, которые, как правило, проходят ежегодное повторное МРТ-сканирование, обычно включающее постконтрастные T1-взвешенные изображения (TW1) для оценки субклинического течения заболевания, то есть образования новых очаговых демиелинизирующих поражений при отсутствии клинических симптомов. Предыдущие работы показали, что при отсутствии нового поражения на T2-взвешенном изображении Fluid-Attenuated-Inversion-Recovery (T2-FLAIR) контрастирование обычно не добавляет дополнительной клинической информации к интерпретации сканирования [2]. Общая проблема при клинической оценке РС заключается в том, что при определении наличия новых поражений полагаются на визуальную интерпретацию изображений

экспертами по нейровизуализации, особенно в случае выраженной степени поражения ЦНС.

Недавний пересмотр диагностических критериев верификации диагноза РС McDonald e.a. [3] применительно к МРТ повысил диагностическую значимость таких биомаркеров, как Т1-взвешенные последовательности, которые демонстрируют локальные нарушения проницаемости гематоэнцефалического барьера для вводимого гадолиния содержащего контрастного вещества в условиях активации воспалительного поражения, и Т2-взвешенные FLAIR-последовательности, которые могут указывать на длительность существования патоморфологических изменений в белом веществе головного мозга. Однако специфичность их по-прежнему остается достаточно низкой.

Сложность и важность точной диагностики усугубляется существованием различных форм течения заболевания с разной реакцией на доступные в настоящее время методы лечения, модифицирующие болезнь. Большинство пациентов с РС в дебюте болезни имеют рецидивирующе-ремиттирующий клинический фенотип заболевания (РРРС), характеризующийся в основном периодическими эпизодами декомпенсации функционального состояния иммунной системы, называемыми рецидивами (экзациербациями), которые сопряжены с нарастанием степени выраженности предсуществующей либо появлением новой неврологической симптоматики. Коррекция подобного рода обострений осуществляется путем фармакологической интервенции с использованием высоких доз кортико-стероидных гормонов. Существующий на сегодня

для периода ремиссии РС арсенал фармакотерапевтических средств, изменяющих клиническое течение заболевания (ПИТРС), включая моно-клональные антитела, ингибиторы пролиферации или миграции иммунных клеток и другие иммуносупрессивные препараты, продемонстрировал относительную эффективность. Однако до трети или более таких пациентов с течением времени переходят к вторичному прогрессирующему клиническому фенотипу РС (ВПРС), который характеризуется устойчивой нейродегенерацией, проявляющейся атрофией коры головного мозга и функциональным снижением, в значительной степени устойчивым к доступным в настоящее время методам лечения [4]. При мерно у 15% пациентов прогрессирующий фенотип – первично-прогрессирующий рассеянный склероз (ППРС) – проявляется с самого начала с минимальным количеством явных рецидивов и неуклонным нарастанием инвалидизации.

Неопределенность окружает не только первичную идентификацию, но и фенотипическую классификацию рассеянного склероза, особенно в период перехода от рецидивирующего к прогрессирующему проявлению, для которого ранее была рассчитана средняя продолжительность диагностической неопределенности, достигающая трех лет [5].

МРТ играет важную роль в диагностике и контроле лечения пациентов с РС. В частности, системное периодическое МРТ-сканирование с оценкой Т2-FLAIR-изображений головного мозга, отображающих поражения белого вещества, является основой для мониторинга активности заболевания и принятия решений о лечении.

С течением времени в связи с дискретностью патологического процесса в ЦНС количественные и качественные характеристики очаговых изменений в ней меняются. По этой причине актуальна разработка инновационных технологий оценки изображений, получаемых с помощью различных последовательностей МРТ у пациентов с РС, в том числе с использованием технологий машинного обучения (искусственного интеллекта).

В данной публикации мы представляем вычислительный подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей, который был разработан и интегрирован в реальный рутинный клинический рабочий процесс. При разработке метода усилия были сфокусированы в основном на двух задачах: обнаружении новой активности заболевания у пациентов с РС

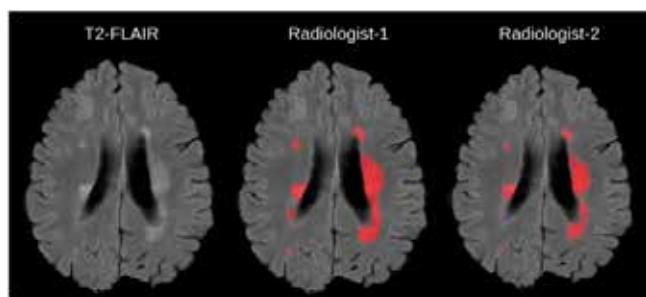


Рис. 1. Пример иллюстрации аксиальных МРТ-сканов поражений головного мозга пациента с рассеянным склерозом, наложенных на двухмерное сканирование T2-FLAIR, совмещенное с выполненным независимыми экспертами в ручном режиме оконтуриванием очагов патоморфологических изменений [7]

и определении динамики существующих патоморфологических изменений в головном мозге.

На наш взгляд, преимущества такой технологии анализа изображений, получаемых при нейровизуализации, сводятся к следующему: обеспечение воспроизводимой и точной клинической – нейровизуализационной оценки пациентов с поражением РС; снижение расходов на здравоохранение, дискомфорта пациентов и нагрузки на медперсонал.

Согласно соответствующей литературе [6], вычислительные методы оценки РС можно разделить на две категории: обнаружение поражений и их изменений. Метод обнаружения (рис. 1) выявляет как статические, так и динамические поражения РС на заданном однократном объеме МРТ. Эти методы сегментации обычно контролируются и основаны на различии гиперинтенсивных поражений от нормально выглядящей ткани белого вещества мозга. Обнаружение изменений – это продольный анализ объемов, полученных в разные временные точки, для оценки которых требуется количественный подход. Изменение поражения происходит в результате трансформации ткани или даже ее деформации. Под трансформацией ткани понимается изменение интенсивности сигнала в пределах поражения при РС (после учета различий в регистрации), в то время как деформация относится к изменениям окружающих тканей в результате расширения или сжатия поражения. Неврологи, направ-

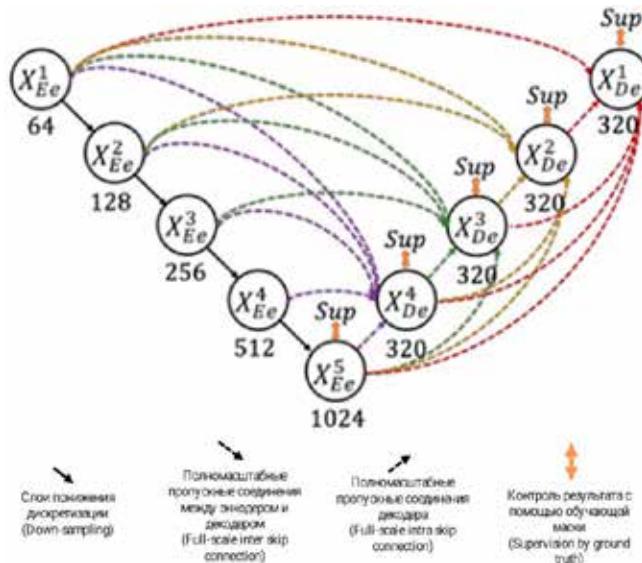


Рис. 3. Архитектура сети UNet 3+

ляющие пациентов на повторную МРТ, хотят знать, образовались ли новые очаги поражения после предыдущей временной точки. Эта информация может побудить невролога изменить схему лечения, чтобы избежать рецидивов в будущем.

Целью нашего исследования стала разработка варианта автоматизированной, основанной на применении искусственных нейронных сетей технологии трехмерной реконструкции картины очагового поражения головного мозга пациентов с рассеянным склерозом,

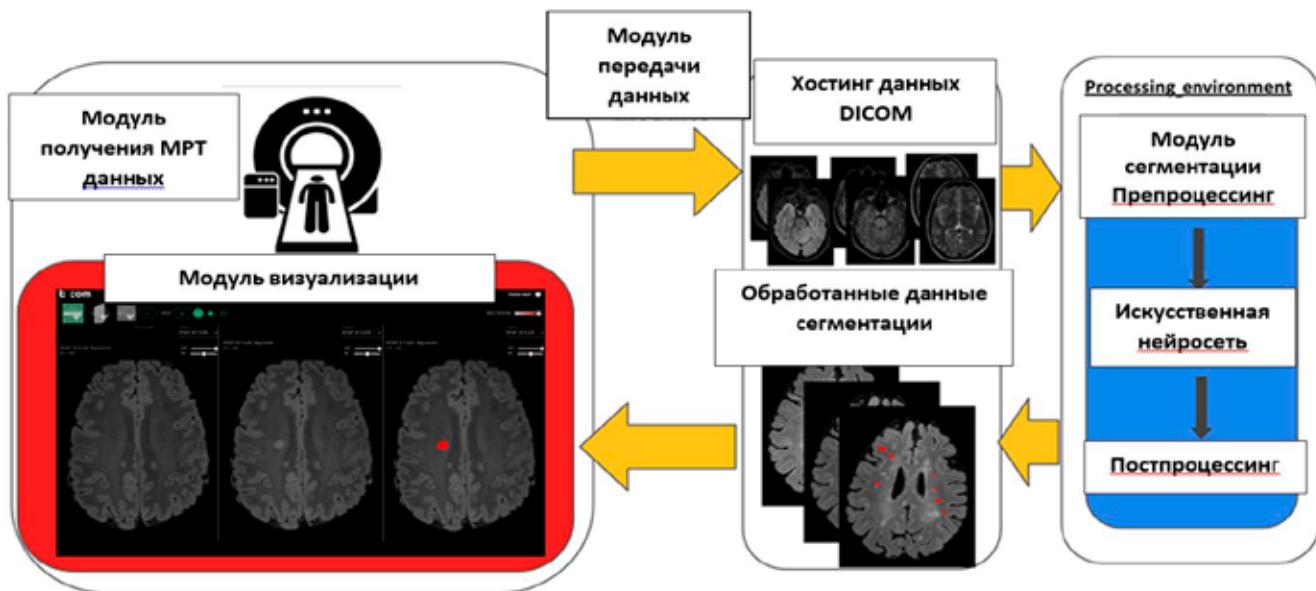


Рис. 2. Условная схема рабочего интерфейса автоматизированной системы анализа изображений «Brain Snitch»

Модель	Количество 3D-серий		Количество срезов	
	Тренировочные	Валидационные	Тренировочные	Валидационные
Режим T2 TSE	119	40	1500	506
Все МРТ-режимы	341	114	4789	1452

Таблица 1. Количество обучающих данных для каждой модели

который предполагает сочетание сравнительной оценки выполненных в разное время МРТ-исследований и анализ индивидуальных патоморфологических изменений в очагах поражения.

Рабочий интерфейс исследования представлен в виде схемы (рис. 2). Все МРТ-исследования выполнены на томографах с напряженностью магнитного поля не ниже 1,5 Тл.

Для сегментации очагов поражения вещества головного мозга и построения 3D-изображения в составе программного комплекса «Brain Snitch» [8, 9] использовался модернизированный вариант архитектуры UNet 3+ [10]. Архитектура сети была улучшена путем интеграции в нее в виде подсети (backbone) модели VGG16 (рис. 3).

Кроме того, был изменен порядок операций повышения дискретизации (upsampling) и свертки (convolution) на обратный (стандартный порядок требует значительно больше видеопамяти) для восходящих (использующих upsampling) полномасштабных пропускных соединений (full-scale skip connections).

Корректное совмещение 3D-паттернов осуществлялось с применением аффинных преобразований. Это позволило устраниТЬ зависимость от ориентации головы пациента во время

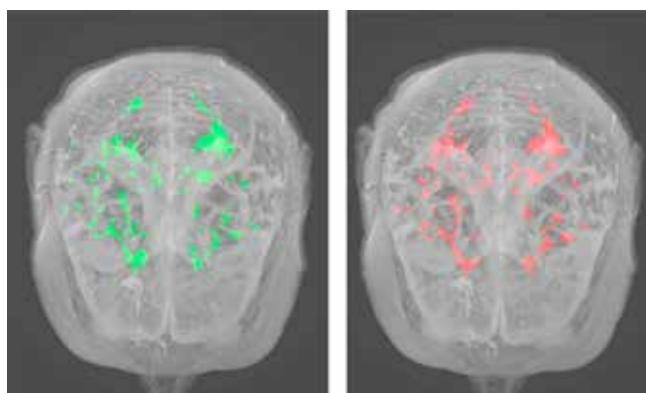


Рис. 4. 3D-реконструкция паттернов поражения головного мозга пациента А., выявленных при МРТ-сканировании. Зеленый цвет – исследование 2019 г., красный – 2018 г.

проведения МРТ-исследований. В качестве функции стоимости (оценивающей, насколько точно произведено совмещение одних и тех же объектов, присутствующих на сравниваемых изображениях) выбрана взаимная информация (Advanced mattes mutual information), оптимизатор – адаптивный стохастический градиентный спуск (Adaptive stochastic gradient descent). Это позволило совместить в том числе серии, полученные в разных режимах МРТ-исследования.

При обучении нейронной сети взяты полученные в разных режимах (T1, T2, FLAIR и др.) МРТ-серии 50 пациентов. Кроме этого, применялась аугментация данных (data augmentation) – методика генерирования дополнительных обучающих сведений из первоначально имеющегося исходного набора изображений [11], который в нашем случае составил 455 3D-серий (соответствует разным режимам и исследованиям 50 пациентов).

Для проведения аугментации использовалась библиотека Albumentations. В качестве параметров выбраны следующие: повороты до 200; сдвиг; масштабирование; горизонтальное отражение; вертикальное отражение; изменение резкости; изменение гаммы; оптическое искажение.

Следует отметить, что наращивание объема исходных данных достигалось с помощью методов, учитывающих как геометрическую, так и яркостную вариабельность информативных объектов на исходных изображениях. Методы первого типа позволяли дополнять данные путем переориентаций и масштабирования доступных входных изображений. Это позволяло сети обучаться инвариантности к подобного рода искажениям, даже если они отсутствовали в оригинальных изображениях.

Полученные таким образом МРТ-серии разбивались на тренировочные и валидационные в пропорции 75% на 25% соответственно. Формирование наборов тренировочных и валидационных изображений именно по сериям позволяет включить все плоские МРТ-срезы серии только в одну выборку (тренировочную либо валидационную), так как соседние срезы могут содержать похожие очаги, что приведет к переобучению, если они попадут в разные выборки.

Следующим шагом в процедуре обучения было получение из 3D-серий, разделенных на тренировочные и валидационные, плоских обучающих изображений (МРТ-срезов). Примеры формирования обучающих наборов при-

ведены ниже. Количество серий, отобранных для одного и того же режима МРТ-сканирования, превышает количество уникальных пациентов, поскольку несколько серий (снятых в разное время) могут относиться к одному человеку.

Было обучено 2 нейронные сети: одна – на МРТ-сериях, полученных в режиме сканирования Т2; вторая – на всех изображениях (использовались все доступные по действующему протоколу последовательности). Количество обучающих данных приведено в табл. 1.

Для оценки точности модели, обученной на всех сериях, использовалась дополнительная выборка из 15 пациентов. Наилучший результат получен при входных изображениях 256x256, размере блока (batch-size) 8 и составил 0,874 (IoU, индекс Жаккара). Самая высокая точность модели, обученной на сериях в режиме Т2, составила 0,892 (IoU). Применялся оптимизатор Adam, функция потерь: комбинация focal loss и меры Жаккара (Jaccard loss). Данную модель сразу обучили 150 эпох только на изображениях, содержащих патологические участки, а после дообучали 25 эпох с модулем классификации (Classification-guided module) на всех изображениях. Для энкодера (backbone) были взяты веса, предобученные на ImageNet-наборе данных. Обучение с помощью видеокарты GeForce GTX 1080 Ti длилось 4 ч для модели, работающей на серии в режиме Т2, и 10 ч – для обученной на всех сериях.

Для анализа интенсивности очагов используется относительная яркость, которая рассчитывается как отношение средней яркости очага к средней яркости фона. Фоном считается все изображение, за исключением очагов. При изменении стационарного магнитного поля томографа меняется яркость всего изображения: как очагов, так и фона. Использование относительного параметра яркости нивелирует подобные различия между исследованиями, проведенными на МРТ-аппаратах с несовпадающей напряженностью магнитного поля, а значит, позволяет корректно оценивать яркость очагов в динамике.

Визуальный анализ изменений предполагал применение цвета в двух режимах: формальный и неформальный. Первый использовался для идентификаций очаговых паттернов, обнаруженных на разных МРТ-сериях (рис. 4).

Неформальный режим применялся для анализа интенсивности очага. Поскольку на МРТ-изображениях присутствует 256 градаций серого, а глаз человека различает не более

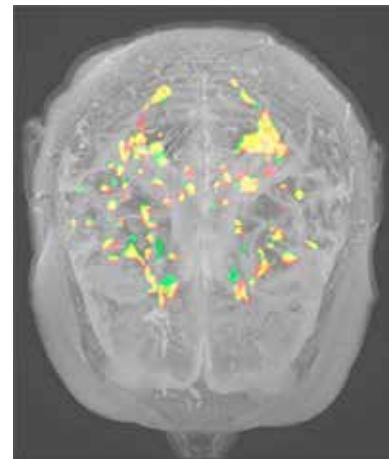


Рис. 5. Наложение патологических паттернов, полученных в ходе МРТ-исследований пациента А. в 2018 и 2019 гг. 3D-реконструкция, вид сверху. Желтый цвет – области совпадения (участки, где поражение сохранилось). Красный цвет – зона восстановления референтных характеристик МР-сигнала, характерных для вещества головного мозга в норме (участки 2018 г., не обнаруженные в исследовании 2019 г.). Зеленый цвет – новые участки демиелинизации (отсутствовавшие на результате исследования 2018 г.)

30 оттенков, чтобы избежать потери информации, каждому уровню серого присваивался собственный цветовой оттенок.

Автоматическая сегментация и последующая 3D-реконструкция позволили быстро получить реалистичную объемную картину поражения и сделать необходимые расчеты: количество, интенсивность и объем очагов, их локализацию (координаты их центра масс), суммарный объем. При анализе сложных многоочаговых

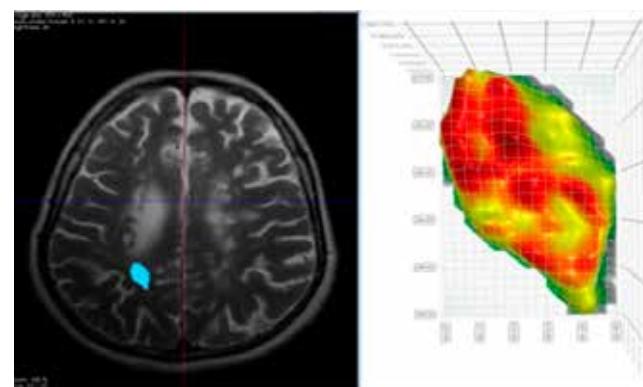


Рис. 6. Цветовая интерпретация структуры воспаления в объеме очага демиелинизации по данным МРТ-исследования пациента В. Очаг на аксиальном срезе выделен голубым цветом, справа – его цветная 3D-реконструкция в увеличенном размере

Метод	Mean	Med	Min	Max	Qmin	Qmax	Σ
Автоматический	27	27	3	90	14	36	17
Эксперт (п/а)	26	24	1	93	11	37	18

Таблица 2. Описательная статистика по результатам сегментации

Mean – среднее количество очагов, выделенных на всех анализируемых срезах МРТ-серии; Med – значение медианы по тем же данным; Min и Max – минимальное и максимальное количество очагов, выделенных на одном МРТ-срезе; Qmin и Qmax – значения нижнего и верхнего квартилей, σ – среднеквадратическое отклонение

паттернов общие временные затраты составляли в среднем 52 с. На рис. 5 представлен пример совмещения паттернов, показанных на рис. 4.

Неформальное цветовое контрастирование помогает анализировать характер воспалительного процесса в объеме отдельного очага. Пример визуализации структуры показан на рис. 6, где каждому уровню серого присвоен оттенок от зеленого (минимальный уровень интенсивности) до красного (максимальный).

Таким образом, разработанная автоматизированная система анализа МРТ сканов «Brain Snitch» позволяет отслеживать актуальное состояние очага поражения: степень активности патологического процесса, размеры (объем) очага, состояние перифокального белого вещества головного мозга.

Существенным препятствием для быстрого и точного анализа объемов произошедших изменений становится многоочаговость поражения. Специалисту по нейровизуализации анализировать МРТ-сканы приходится в трех ортого-

нальных проекциях. Обычно необходимо оценить и описать не менее 120 (50+40+30) срезов. На каждом выделяется и исследуется состояние отдельных фрагментов обнаруженных патологических очагов. Чтобы оценить картину в целом, необходимо мысленно сложить из множества фрагментов объемный пазл. Еще сложнее провести точное сравнение двух или нескольких МРТ-исследований пациента, проведенных в разное время. Такая методика не только отнимает много времени, но и определяет невысокую точность результата. При большом объеме поражения мысленно реконструировать его целостную картину просто невозможно.

Построить трехмерную модель очагового паттерна и получить основные количественные характеристики – важная, но не единственная задача, которая решается в процессе диагностики патологического процесса при рассеянном склерозе. Не менее важно проанализировать изменение состояния участка с визуализируемыми признаками разрушения миелина. Когда в поле зрения попадает несколько очагов, сделать это не слишком сложно. Однако оценить характер изменений, произошедших с течением времени в многоочаговых паттернах, имеющих сложную для обычной визуальной оценки конфигурацию, без автоматизации процесса анализа чрезвычайно сложно (рис. 7).

В левом окне программного интерфейса находится 3D-реконструкция результатов МРТ-исследования пациента перед началом курса терапии, в правом – проведенное через месяц для оценки эффективности терапии. Понятно, что по такой многослойной картине сложно понять, какие из очагов с течением времени трансформировались, какие исчезли, а какие можно считать новыми.

Созданная в Белорусском государственном медицинском университете программа «Brain Snitch» позволяет все это делать в автоматическом режиме. Достаточно дать команду нейронной сети, и для каждого исследования программа строит реалистичный объемный паттерн поражения. При этом рассчитывается исчерпывающий набор параметров, описывающих локализацию очагов, их размеры и активность.

Результаты сегментации участков разрушения миелиновой оболочки нейронной сетью в сравнении с ручным выделением, сделанным неврологом, демонстрируются на рис. 8–10. В каче-

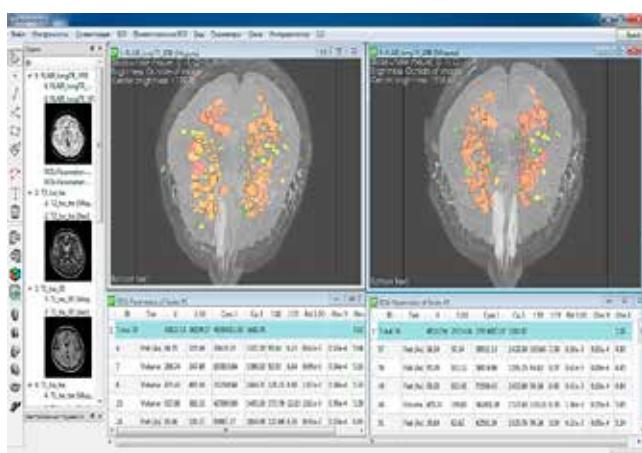


Рис. 7. Объемная модель очаговых паттернов, полученных в ходе двух разнесенных по времени МРТ-исследований

стве примеров приведены разные МРТ-срезы и режимы исследования. Зеленым цветом обозначены участки, выделенные экспертом по нейровизуализации, но не распознанные нейронной сетью, красным – только нейронной сетью, желтым – экспертом, и нейронной сетью.

Как видим, сеть обнаружила все проблемные участки, отмеченные экспертом, и выделила еще два вопреки мнению специалиста. Требуется дополнительная валидация. Следует также обратить внимание, что нейронная сеть выделила несколько большие по площади участки, вследствие чего вокруг желтых областей совпадения появились ореолы красного цвета.

Как видно на *рис. 10*, мнения эксперта и нейронной сети практически совпали.

На *рис. 10* нейронная сеть не идентифицировала в качестве очага демиелинизации один участок, но при этом обнаружила два, по каким-то причинам не отмеченные экспертом. Требуется дополнительный анализ результатов, полученных экспертом и нейронной сетью по количеству очагов, выделенных на идентичных срезах МРТ-исследования у произвольно выбранного одного и того же пациента. Их сравнительная характеристика представлена на *рис. 11* и в *табл. 2*.

Оценка распределения полученных данных сделана с использованием критерия Шапиро-Уилка и показала, что оно отличается от нормального ($W < 0,05$), поэтому проверка на достоверность выявленных различий проведена непараметрическим тестом Манна-Уитни для двух независимых, сопряженных выборок.

U-критерий оказался равным 3250,5, $Z = -0,63$. С вероятностью ошибки $p = 0,53$ (при уровне значимости $\alpha = 0,05$) можно утверждать, что обнаруженные различия носят случайный характер. Таким образом, результаты в определении количества очаговых образований автоматическим методом достоверно соответствуют результатам эксперта.

В целом сеть успешно обнаруживала проблемные участки на МРТ-срезах, полученных в разных режимах. Наиболее точные результаты со специфичностью 89% – на изображениях T2 FLAIR. При этом среднее время сегментации при ручном оконтурировании составило 40 мин. Полностью автоматический метод оказался на порядок быстрее полуавтоматического, потребовав меньше минуты.

Автоматическое обнаружение и выделение очагов обеспечивает возможность

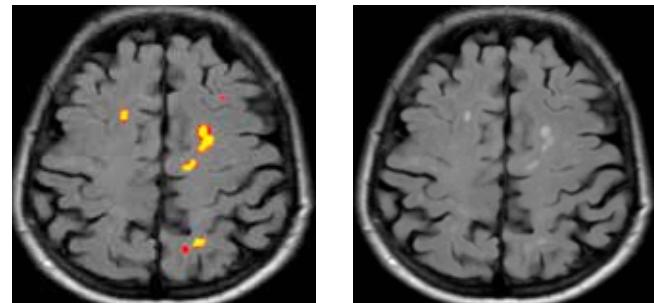


Рис. 8. МРТ (аксиальный срез) с результатом сопоставления очагов, выделенных экспертом и нейронной сетью. Справа – исходное изображение, полученное в режиме T2W-FLAIR

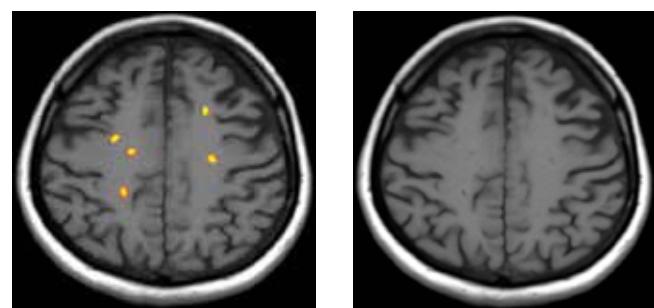


Рис. 9. Участки демиелинизации на МРТ-аксиальном срезе, полученном в режиме T2W-FLAIR. Слева – цветовое сопоставление участков, выделенных экспертом и нейронной сетью, справа – исходное изображение

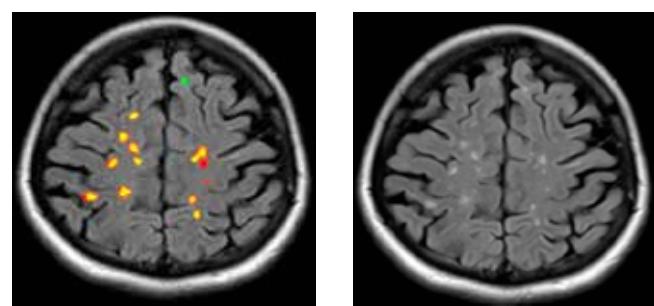


Рис. 10. Сегментация очагов демиелинизации. Слева – сопоставление результатов эксперта и нейронной сети. Справа – исходное изображение, полученное в режиме T2W-FLAIR

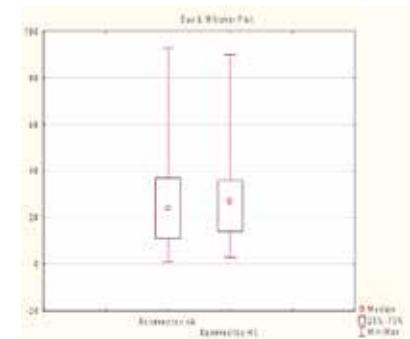


Рис. 11. Графическое представление данных по количеству выделенных очагов экспертом полуавтоматическим методом (количество пA) и с использованием нейронной сети (количество НС)

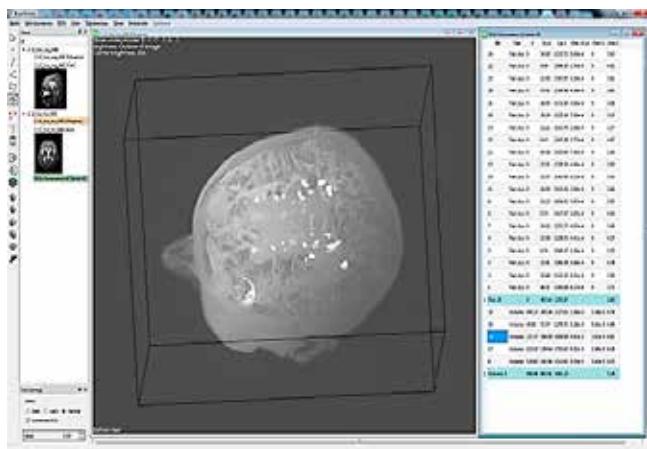


Рис. 12. 3D-реконструкция многоочагового паттерна, полученного в результате автоматизированного анализа МРТ пациента с рассеянным склерозом

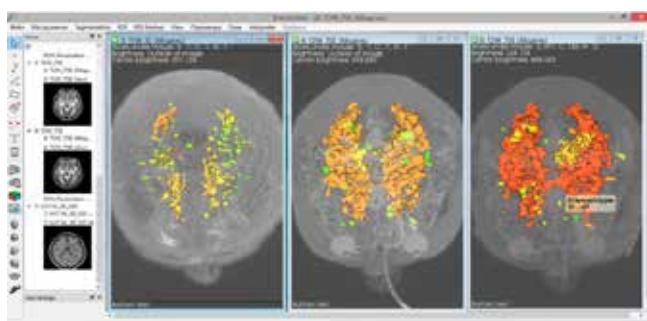


Рис. 13. 3D-визуализация трех разнесенных по времени МРТ-исследований головного мозга пациента с РС с проведением неформального цветового контрастирования, характеризующего интенсивность очаговых паттернов

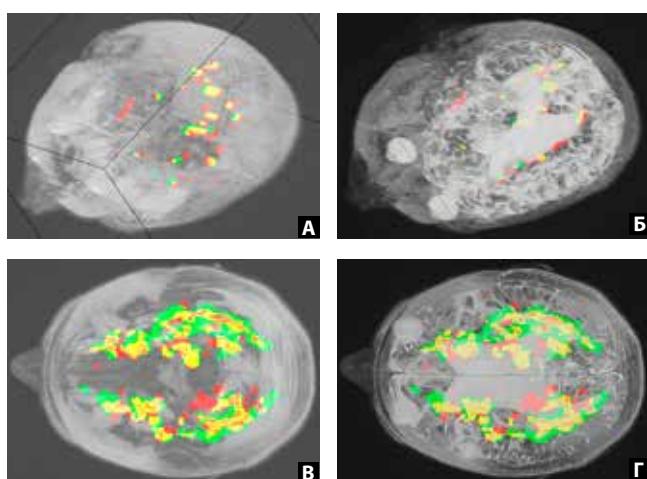


Рис. 14. Совмещение и цветовая маркировка очагов на МРТ-срезах, выполненных через определенный временной интервал: А, В – объемные реконструкции очаговых паттернов, полученные в режиме T2-FLAIR; Б, Г – объемные реконструкции очаговых паттернов, полученные в режиме T2-TSE

последующего построения реалистичной объемной картины поражения мозга (рис. 12).

Пример трехмерной реконструкции патологических паттернов одного и того же пациента по данным МРТ-исследований, проведенных с интервалами в 3 и 6 месяцев, демонстрируется на рис. 13.

Каждое изображение сопровождается широким спектром количественной и визуальной информации, позволяющей детально оценить состояние пациента на момент проведения МРТ-исследования. В разряд количественной информации входят параметры, описывающие размеры (объемы) очагов, их локализацию (нормализованные координаты центров масс очагов) и интенсивность (относительная яркость). Поскольку из 256 воспроизводимых монитором градаций серого глаз человека воспринимает лишь 30, во избежание потери информации дополнительно проводится цветное контрастирование. В программном комплексе используется два его вида – неформальное (для характеристики индивидуальных особенностей объекта) и формальное (для маркировки объектов по формальным признакам, например режиму или времени получения). Каждому уровню серого при неформальном цветовом контрастировании (рис. 8) присваивается определенный цветовой оттенок в диапазоне от зеленого – к красному. Чем интенсивнее очаг, тем ближе его цвет к красному. Пример формального контрастирования приведен на рис. 14.

Для быстрой и точной оценки динамики патологического процесса реализован основанный на аффинных преобразованиях механизм точного совмещения паттернов вне зависимости от ориентации головы пациента во время проведения сравниваемых МРТ-исследований. Получение матрицы преобразований между системами координат двух МРТ-изображений осуществляется методом жесткой регистрации из набора инструментов elastix. В качестве функции стоимости (оценивающей точность совмещения одних и тех же объектов, присутствующих на сравниваемых изображениях) выбрана взаимная информация (Advanced mattes mutual information), оптимизатор – аддитивный стохастический градиентный спуск (Adaptive stochastic gradient descent). Используемая функция стоимости позволяет совмещать в том числе серии, полученные в разных режимах МРТ-исследования.

Совмещение серий и последующая цветовая маркировка очагов осуществляются в автома-

тическом режиме и позволяют идентифицировать пропавшие и новые образования, что существенно облегчает визуальный анализ динамики патологического процесса. На рис. 14 представлены объемные реконструкции разнесенных по времени МРТ-исследований двух пациентов с совмещением очагов. Зеленым цветом отображены участки демиелинизации, выявленные при первом обследовании, но не обнаруженные при повторном. Желтым – не изменившиеся участки, обнаруженные в ходе обоих исследований. Красным маркируются новые образования. Иными словами, формальное цветовое контрастирование позволяет быстро оценить размеры регенерации в веществе головного мозга (зеленый цвет) и локализовать зоны развития воспалительного процесса (красный цвет).

Проведенные в клинических условиях предварительные испытания реализованных в составе программного комплекса возможностей искусственного интеллекта выявили ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами анализа динамики патологического процесса и эффективности лечения при рассеянном склерозе.

В отличие от разработанного метода, традиционная процедура анализа МРТ-исследования опирается на эмпирические выводы врача, в значительной степени основанные на его зрительном восприятии отдельных элементов, а не целостной картины. При наличии одиночных очагов это не существенно сказывается на точности интерпретации МРТ-картины, но при разрастании объемов поражения вероятность ошибочных заключений существенно возрастает.

Многоочаговые, многослойные паттерны сложной формы, легко анализируемые с помощью искусственного интеллекта, принципиально не поддаются адекватному описанию при традиционном визуальном методе исследования.

Среднее время построения картины поражения с применением представленного в стандартных томографах традиционного ручного оконтуривания составляет 40 мин. – против 52 с при автоматической сегментации в составе программного комплекса.

Применение искусственного интеллекта позволяет проводить количественную оценку динамики состояния пациента вне зависимости от его положений внутри томографа во время МРТ-исследований или от технических характеристик оборудования. При традиционном

методе исследования принципиально отсутствует возможность адекватного сравнения полученных на разных томографах МРТ-данных, разнесенных по времени их получения.

Разработанный метод обеспечивает возможность получения большего спектра диагностически ценных характеристик при меньших энергетических затратах диагностики и со 100%-ной воспроизводимостью результатов. ■

■ **Summary.** The paper presents one of the options for automating the evaluation procedures of magnetic resonance imaging (MRI) of the brain in patients suffering from one of the most severe diseases of the central nervous system (CNS), multiple sclerosis.

■ **Keywords:** multiple sclerosis, magnetic resonance imaging, automatic segmentation, artificial intelligence.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-02-75-83>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. McGinley M.P., Goldschmidt C.H., Rae-Grant A.D. Diagnosis and Treatment of Multiple Sclerosis. A Review.– JAMA. 2021. №325(8). P. 765–779.
2. Wattjes M.P., Ciccarelli O., Reich D.S., Banwell B., de Stefano N., [et al] / Lancet Neurology 2021. №20(8). P. 653–670.
3. Thompson A.J., Banwell B.L., Barkhof F., [et al] Diagnosis of multiple sclerosis: 2017 revisions of the McDonald criteria / Lancet Neurol. 2018. №17(5). P. 162–73.
4. Rae-Grant A., Day G.S., Marrie R.A., [et al]. Practice guideline recommendations summary: Disease-modifying therapies for adults with multiple sclerosis: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. / Neurology. 2018. №17(6). P. 777–788.
5. Wiendl H., Gold R., Berger T., Derfuss T., [et al]. Multiple Sclerosis Therapy Consensus Group (MSTCG): position statement on disease-modifying therapies for multiple sclerosis (white paper) / Ther Adv Neurol Disord. 2021. №14(2). P. 1–39.
6. Thakur S.P., Schindler M.K., Bilello M., Bakas S. Clinically Deployed Computational Assessment of Multiple Sclerosis Lesions / Front Med (Lausanne). 2022. №17(1). P. 1–11.
7. Carass A., Roy S., Jog A., Cuzzocreo J.L., [et al]. Longitudinal multiple sclerosis lesion volume change over time: development of an algorithm for analysis of longitudinal quantitative MRI measures. – Neuroimage. 2017. №148(1). P. 77–102.
8. Косик И.И., Карапетян Г.М., Федулов А.С., Андреева М.А., Цвирко В.Н. Свидетельство регистрации в Национальном центре интеллектуальной собственности компьютерной программы «Brain Snitch» №1368; 16.12.2022.
9. Андреева М.А., Карапетян Г.М., Косик И.И., Федулов А.С., Борисов А.В. Алгоритм визуализации и анализа патоморфологических изменений в головном мозге – Инструкция по применению – Регистрационный №042–0520. Утверждена 11.06.2020.
10. Huimin H., Lin L., Tong R., Hu H., Zhang Q., Iwamoto Y., Han X., Chen YW., Wu J. UNet 3+: A Full-Scale Connected UNet for Medical Image Segmentation.– Proceeding of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2020:1055–1059.
11. Buslaev A., Iglovikov V., Khvedchenya E., Parinov A., Druzhinin M., Kalinin A. Albumentations: Fast and Flexible Image Augmentations. / Information. 2020. №11(1). P. 27–35.

Статья поступила в редакцию 04.12.2022 г.

Vladimir Gusakov

The model of socio-economic development of Belarus is social orientation and scientific justification 4

The article considers the current model of socio-economic development in Belarus, which has proven its effectiveness.

Yulia Vasilishina

«Intellectual Belarus»: an exhibition that has become an event 9

The review presents a number of developments at the large-scale exhibition of scientific and technological achievements «Intellectual Belarus».

Andrei Hancharou

Modern virology and biological threats of an infectious nature 16

The article considers the main current threats of an infectious nature, give their general characteristics, show the ways of counteracting viral infections. It also reveals the multidisciplinary nature of research in modern virology.

Anatoly Zinchenko, Margarita Vinter, Illia Kazlousk

Interferons and their inducers as elements in control of COVID-19 24

The article analyzes the properties of various types of interferons, including those recently discovered, discusses the possibility of their use in the treatment of coronavirus, the reasons for the restrictions for some patients, as well as the prospects for the development of a universal antiviral agent by scientists.

Anna Chernykh, Andrei Hancharou

Viruses of the Filoviridae family 30

The article considers representatives of the Filoviridae family, some of which are the causative agents of hemorrhagic fever, which is fatal to humans. The current state of development of immunobiological drugs for the treatment and medical prevention of diseases caused by filoviruses has been analyzed.

Darya Babrukevich, Andrei Hancharou, Natalia Antonevich, Vasily Bogdan

Smallpox and monkeypox: characterization of viruses and prevention of infections 38

The article considers the poxviruses which are the most dangerous and urgent biological threats, especially smallpox and monkeypox. The authors discuss general characteristics of viruses, historical aspects of diseases caused by these pathogens, vaccination and control and treatment of viral infections.

Larisa Trigubovich

Features and regularities of forming the demand for innovations 43

The article studies the formation of innovative demand mechanism, its specifics, taking into account differences in the consumer behavior motivation and the features of the innovative products use.

Natalia Matsukevich, Valentina Kovrey

Public-private partnership in the management of region's investment activity 49

The article discusses the mechanism of managing the investment activity of the region, the features and advantages of public-private partnership as one of the management tools.

Sergei Ablameyko, Mikhail Zhuravkov

Artificial intelligence technologies: current state and areas of development 56

The article considers the general issues of the artificial intelligence development, computer vision and modeling technologies. The achieved results are shown, further steps are proposed for the development of artificial intelligence in the Republic of Belarus.

Natalia Denisova, Elena Martishchenkova

Digital competencies in the professional activities of researchers of the National Academy of Sciences of Belarus 62

The article presents the results of a survey of researchers from the National Academy of Sciences of Belarus, aimed at identifying the level of their digital competencies necessary for the high-quality digital transformation of science.

Tatsiana Zhdanovich

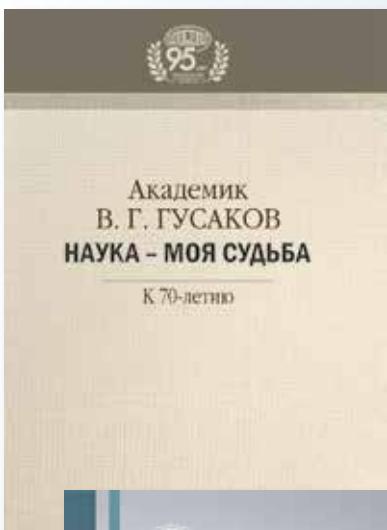
The Big Local Bang Theory. How a young scientist modernizes the world's most conservative technologies, turning destructive forces into creative ones 69

We tell about the researcher Vladislav Semashko, laureate of the academician Zh.I. Alferov prize for young scientists of the National Academy of Sciences of Belarus, who achieved significant scientific results in the field of explosion physics.

Alexander Fedulov, Grigory Karapetyan, Ivan Kosik, Alexei Borisov, Ksenia Blagochinnaya, Natalia Volkova

Artificial intelligence technologies in monitoring pathomorphological changes in the central nervous system in multiple sclerosis 75

The paper presents one of the options for automating the evaluation procedures of magnetic resonance imaging (MRI) of the brain in patients suffering from one of the most severe diseases of the central nervous system (CNS), multiple sclerosis.



Академик В. Г. Гусаков. Наука – моя судьба : к 70-летию / Нац. акад. наук Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 684 с., [16] л. : ил.

ISBN 978-985-08-2955-9.

Автор книги «Наука – моя судьба» Председатель Президиума НАН Беларуси академик В. Г. Гусаков в преддверии своего 70-летия объективно и без прикрас рассказывает о детстве, юности, трудовой деятельности и своих основных достижениях на поприще безоглядного служения науке. Кроме того, в издание вошли доклады, научные статьи, публикации в СМИ и другие материалы, свидетельствующие о многогранной деятельности В. Г. Гусакова, его грамотных управленческих и организационных решениях, нацеленных на развитие Академии наук и науки в целом.

Предназначена для широкого круга читателей.

Беларуская літаратура XX–XXI стст.: рэцэпцыя глабальнага і прэзентацыя самабытнага / З. У. Драздова [і інш.] ; навук. рэд. А. А. Манкевіч ; Нац. акад. навук Беларусі, Цэнтр даслед. беларус. культуры, мовы і літ., Інт літаратуразнаўства імя Я. Купалы. – Мінск : Беларуская навука, 2023. – 413 с.

ISBN 9789850829566.

Праблема рэцэпцыі глабальнага і прэзентацыі самабытнага даследуеца з улікам апошніх дасягненняў гісторыка-тэарэтычнай думкі на прыкладзе творчасці беларускіх празаікаў, паэтаў і драматургаў. Разглядаеца рэцэпцыя беларускай літаратурнай класікі пачатку XX стагоддзя ў Італіі. Працягваюцца і істотна ўзбагачаюцца традыцыі нацыянальнага літаратуразнаўства, больш глыбока раскрываеца сутнасць разглядаемай праблемы, асэнсоўваюцца роля, значэнне і месца спадчыны беларускіх пісьменнікаў у нацыянальнай і сусветнай літаратурах на якасна новым узроўні.

Манаграфія будзе запатрабавана навуковымі і навукова-педагагічнымі установамі пры распрацоўцы курсаў і спецсемінараў па гісторіі беларускай літаратуры XX ст., а таксама шырокім колам чытачоў, усім, хто цікавіца роднай літаратурай.

Сацыяльна-эканамічнае развіццё Беларусі (канец XVIII – пачатак XX ст.) / В. В. Яноўская [і інш.] ; рэдкал.: В. В. Даніловіч (гал. рэд.) [і інш.] ; Нац. акад. навук Беларусі, Ін-т гісторыі. – 2-е выд. – Мінск : Беларуская навука, 2023. – 684 с. : іл.

ISBN 978-985-08-2966-5.

У манаграфіі раскрываюцца асноўныя тэндэнцыі сацыяльна-эканамічнага развіцця Беларусі ў канцы XVIII – пачатку XX ст.: аграрная палітыка і эвалюцыйныя працэсы ў галіне сельскай гаспадаркі, развіццё прамысловасці і гарадоў, сацыяльная трансфармацыя беларускага грамадства, фарміраванне камунікацыйнай і інфармацыйнай прасторы, фарміраванне і развіццё фінансава-кредытнай сістэмы, гандаль, прадпрымальніцтва і ўдзел замежных прадпрымальнікаў і фінансістаў у развіцці прамысловасці і транспарту.

Прызначаеца для ўсіх, хто цікавіца гісторыяй Беларусі канца XVIII – пачатку XX ст.



РУП «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «БЕЛОРУССКАЯ НАУКА»

предлагает литературу

- по медицине
- искусствоведению
- литературоведению
- языкознанию
- этнографии
- фольклору
- естественным наукам

принимает заказы на печать

- бланки формата А₅, А₄, А₃
- грамоты ● дипломы
- канцелярские книги
- блокноты ● блоки для записей
- календари ● буклеты
- проспекты (с разработкой дизайна)
- тираж от 1 экземпляра

Получить информацию
об изданиях и оформить
заказы можно по телефонам:
(+37517) 396-83-27,
370-64-17, 267-03-74.
Адрес: ул. Ф. Скорины, 40,
220084, г. Минск,
Республика Беларусь
belnauka@mail.ru
www.belnauka.by

Подробности тут:
<https://csl.bas-net.by/>

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Берковские чтения. Книжная культура в контексте международных контактов

24–25 мая 2023 г.
Брестский государственный университет
им. А.С. Пушкина

Планируемая тематика

- Книжная культура – теоретические и книговедческие аспекты
- Энциклопедистика и биографика в науке
- Информационная культура личности в современном обществе
- Чтение как компонент духовной и материальной культуры. Педагогические аспекты
- Книгопечатание на территории Восточной Европы с XIII по XIX вв.
- Книжные собрания, редкие книги и рукописи
- Книжные издания и периодическая печать в XX–XXI вв. Перспективы развития
- Искусство в пространстве книжной культуры:
ретроспектива и современные тенденции
- Архив – хранилище и источник информации
и его роль в социально-философском осмыслении истории
- Литературный процесс в социогуманитарном дискурсе:
проблемы стилей и жанров. Фольклор и мифология
- Славянские языки: проблемы текста и контекста
- Библиотечно-информационное образование – стратегии развития

Организаторы:

Национальная академия наук Беларуси
Центральная научная библиотека им. Якуба Коласа НАН Беларуси
Институт социологии НАН Беларуси
Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина
Российская академия наук
Научный и издательский центр «Наука» РАН
Международная ассоциация академий наук
Научный совет по книжной культуре, книгоизданию и библиотекам

