

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА –
ГАРАНТ УСТОЙЧИВОСТИ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

4

МИКРОБИОМ-
АССОЦИИРОВАННАЯ
МЕДИЦИНА

18

ОТРАСЛЕВЫЕ
СТРУКТУРНЫЕ СДВИГИ
В ЭКОНОМИКЕ

44

НОВАЯ
НОРМА
ОБРАЗОВАНИЯ

57

Наука и инновации

№8 (234)
АВГУСТ 2022

научно-
практический
журнал



ТАЙНЫЙ МИР МИКРОБОВ

ISSN 1818-9857

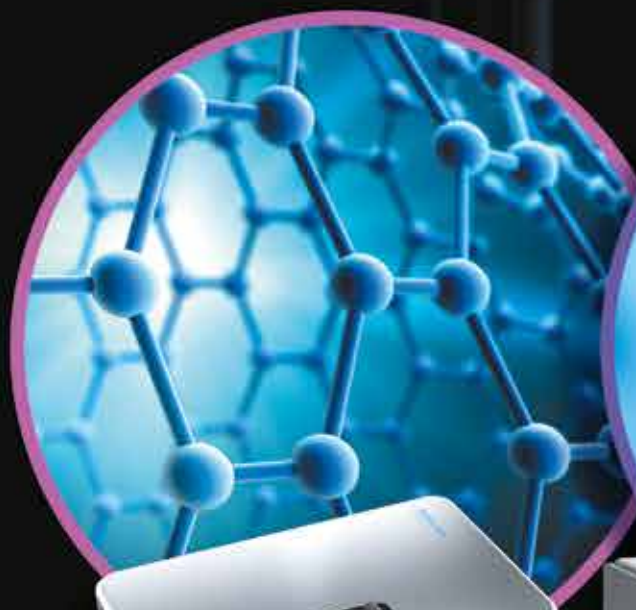


9 771818 985001 08

ISSN 2412-9372 (online)

Bettersize

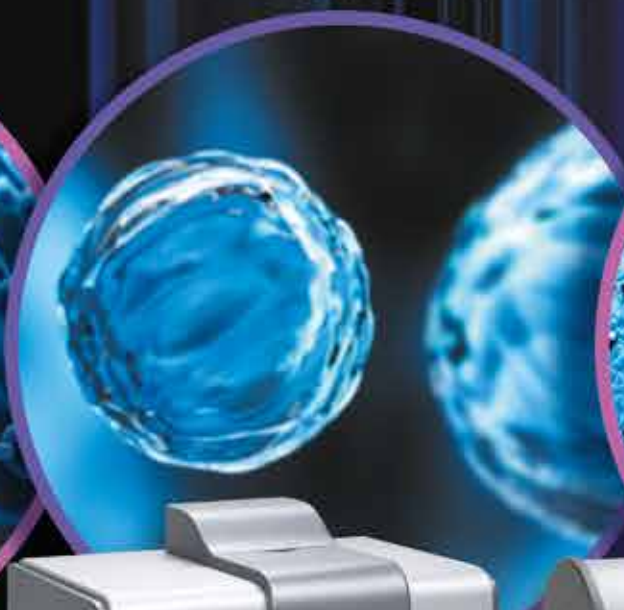
ЛАЗЕРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЧАСТИЦ



BeNano Zeta Pro

- Размер частиц
- Дзета-потенциал
- Молекулярная масса

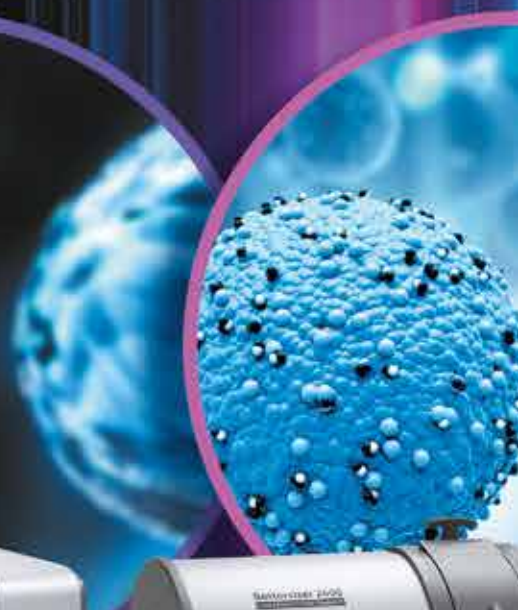
0,3 нм – 15 мкм



Bettersizer ST

- Размер частиц

0,1 – 1000 мкм



Bettersizer 2600

- Размер частиц

0,02 – 2600 мкм



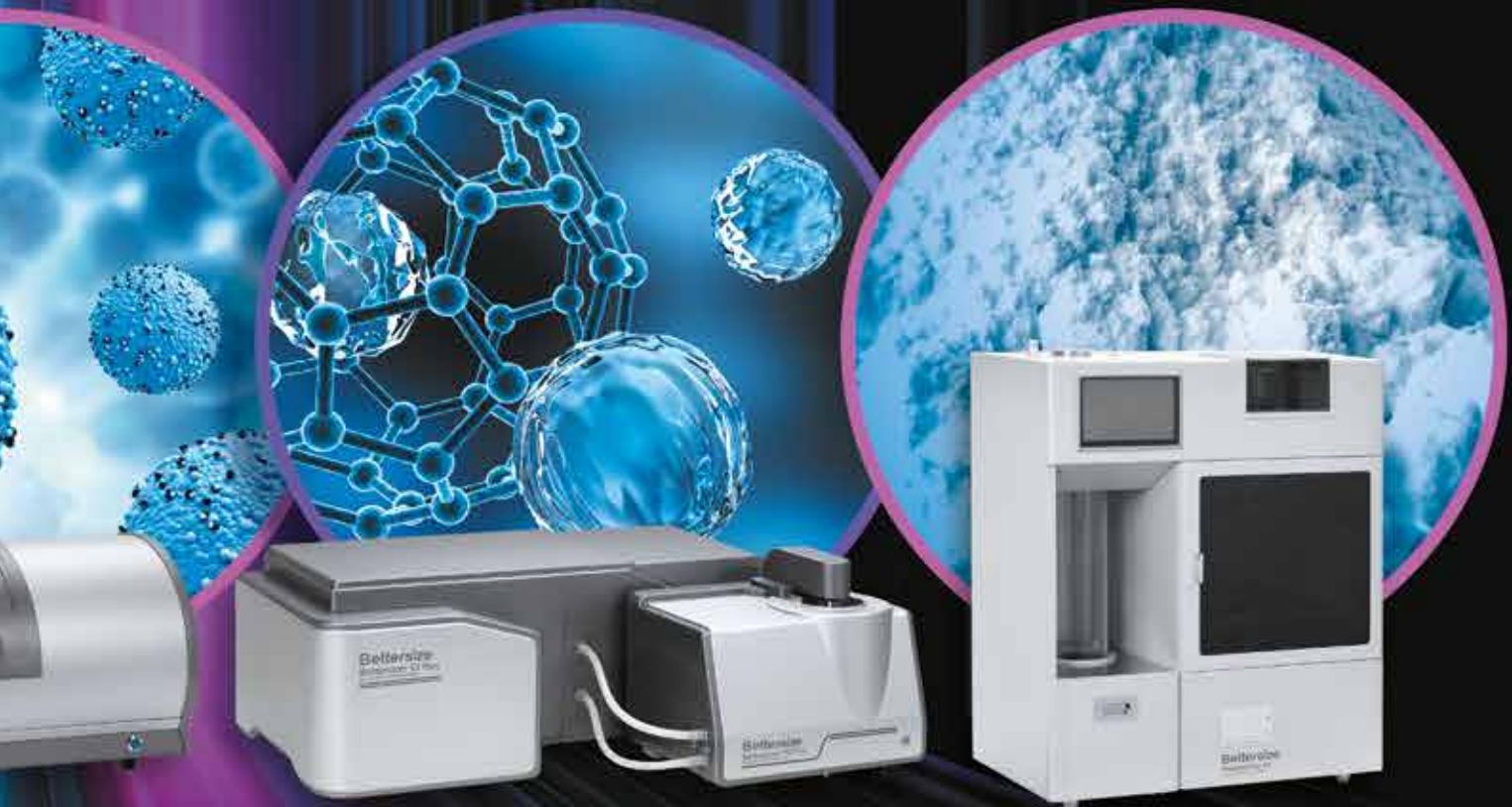
NORDWOC

+375 (44) 594-48-14

nz@nordwoc.lv

www.nordwoc.by

Поставка оборудования
Сервисное обслуживание
Обучение персонала



Bettersizer S3 Plus

- Размер частиц
- Форма частиц

0,01 – 3500 мкм

PowderPro A1

- Физические свойства порошковых материалов

14 определяемых параметров



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	Ж. В. Комарова С. А. Красный Н. П. Крутько
П. А. Витязь – зам. председателя	В. А. Кульчицкий М. В. Мясникович
В. В. Байнев	О. Г. Пенязьков
А. И. Белоус	О. О. Руммо
И. В. Войтов	Н. С. Сердюченко
И. Д. Волотовский	И. А. Старовойтова
С. В. Гапоненко	А. В. Тузиков
С. И. Гриб	И. П. Шейко
А. Е. Дайнеко	А. Г. Шумилин
Н. С. Казак	В. Ю. Шутилин
Э. И. Коломиец	С. В. Харитончик

Главный редактор:

Жанна Комарова

Ведущие рубрик:

Ирина Емельянович	Татьяна Жданович
Наталья Минакова	Юлия Василюшина

Дизайн и верстка:

Алексей Петров

Адрес редакции:

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

Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)

00753 (индивидуальная)

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,8.

Тираж 537 экз. Цена договорная.

Подписано в печать 19.08.2022.

Издатель и полиграфическое

исполнение: РУП «Издательский дом «Беларуская навука».

Свид. о гос. рег. №1/18 от 02.08.2013.

ЛП №02330/455 от 30.12.2013.

г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40. Заказ №151.

© «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.

Содержание

ОСНОВЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Владимир Гусаков

Микроэлектроника – гарант устойчивости и конкурентоспособности отечественной промышленности 4

В интервью речь идет о развитии микроэлектроники в мире и о перспективах ее роста в Республике Беларусь.

Валерий Байнев, Татьяна Гораева

Проблемы обеспечения технологической безопасности Республики Беларусь 12

Рассмотрены проблемы обеспечения технологической безопасности нашей страны с упором на создание, развитие и использование отечественных технологий.

ТЕМА НОМЕРА: ТАЙНЫЙ МИР МИКРОБОВ

Игорь Стома, Екатерина Малаева

Микробиом-ассоциированная медицина: как связаны мир микробов и мир людей? 18

Проанализировано влияние микробиома на организм человека. Обозначены перспективные направления клинической медицины.

Евгений Воропаев, Алексей Ковалев, Александр Шафорост, Алексей Зятков, Ольга Осипкина, Игорь Стома

Микробное разнообразие при различных заболеваниях желудка 23

Представлены предварительные результаты оценки микробного разнообразия при различных заболеваниях желудка с использованием метагеномического подхода. Показаны особенности таксономической структуры микробиомов в нормальных тканях и с наличием выраженных патологических процессов.

Елена Михаленко, Елена Гузенко, Александр Кильчевский

Центр изучения микробиома: фундаментальные и прикладные исследования 27

Представлены основные направления исследований Республиканского центра изучения микробиома Института генетики и цитологии НАН Беларуси, способствующие решению актуальных задач медицины, криминалистики и сельского хозяйства.

Анастасия Сидоренко, Екатерина Охремчук, Леонид Валентович, Екатерина Скопонец, Наталья Кирсанова

Кишечный микробиом как индикатор патологических процессов в организме человека 32

Рассмотрены изменения кишечной микробиоты, ассоциированные с метаболическими и аутоиммунными заболеваниями, болезнями пищеварительной, сердечно-сосудистой и нервной систем, канцерогенезом.

Олег Баранов, Станислав Пантелеев, Любовь Иващенко

Метагеномные исследования лесных видов в Беларуси 38

Приведен краткий обзор основных направлений метагеномных исследований лесных видов в Беларуси.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА

Екатерина Рожковская

Отраслевые структурные сдвиги в белорусской экономике: направления и оценка 44

Проведен анализ и дана оценка интенсивности долгосрочных отраслевых сдвигов в белорусской экономике за период с 1990 по 2020 г.

Ольга Жуковская

Сущность, формирование и особенности оценки национальных инновационных экосистем 51

Рассмотрена концепция экосистем в рамках междисциплинарного подхода к инновациям, определены место и роль Республики Беларусь в глобальном инновационном процессе и возможные пути совершенствования отечественной системы инноваций.

ЦИФРОВАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Ирина Емельянович

Новая норма образования 57

Описан переход сферы образования к аналитике для принятия решений, основанной на больших данных, или к информационно обоснованному решению.

Николай Ишин, Владимир Адашкевич,
Аркадий Гоман, Андрей Скороходов

Мониторинг состояния 4.0 – интеллектуализация оценки ресурса машин 61

Проведен мониторинг технического состояния новейших самосвалов, другого современного наукоемкого оборудования как один из решающих шагов на пути к Индустрии 4.0, обеспечивающий наибольшую отдачу от инвестиций в сложные, трудоемкие промышленные производства.

Тамара Чернышева

Роботы и экономическое развитие 69

Представлен обзор рынка и тенденции развития промышленных роботов. Обоснована необходимость более широкого применения промышленных роботов, промышленного Интернета вещей и в целом цифровизации в приоритетных областях экономики Беларуси.

ВНЕШНЕТОРГОВЫЕ КОНТАКТЫ

Павел Шведко, Екатерина Тавгенъ

Выход белорусских экспортеров на конголезские рынки 74

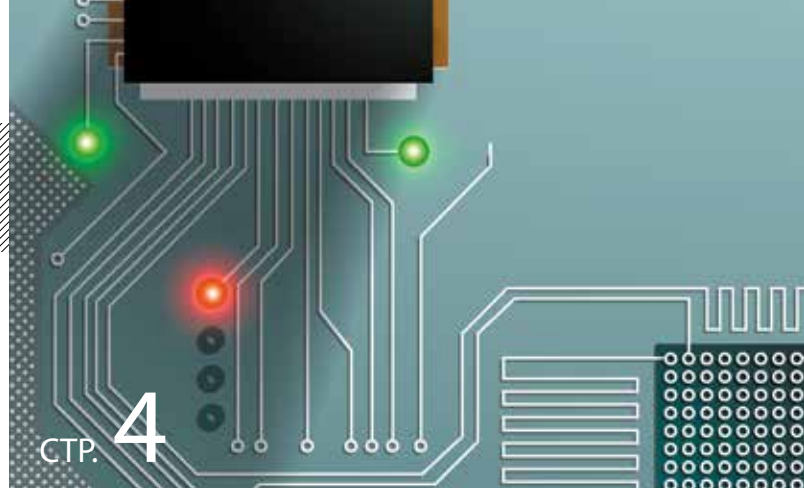
Анализируются перспективные направления развития внешнеторговых отношений Республики Беларусь с Республикой Конго и Демократической Республикой Конго. Рассматривается специфика ведения бизнеса на этих рынках, дается их краткий экономический обзор.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ольга Овечкина, Валерия Крипан

Тенденции экспортного ценообразования белорусских производителей молочных товаров 79

Изложены результаты исследования мирового и белорусского рынков молочных товаров в контексте решения проблем продовольственной безопасности.



СТР. 4



СТР. 18



СТР. 61



СТР. 69

The background is a stylized illustration of a microelectronics circuit board. It features a central black square with the title text. White lines represent circuit traces, connecting various components like resistors, capacitors, and integrated circuits. Three glowing LEDs (two green, one red) are placed on the circuit. The overall color palette is teal, grey, and white, with a subtle dot pattern in the corners.

МИКРО- ЭЛЕКТРОНИКА—

ГАРАНТ
УСТОЙЧИВОСТИ
И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Владимир Гусаков,
Председатель Президиума
Национальной академии наук
Беларуси, академик

Микроэлектроника сейчас – ведущая сфера мировой экономики, определяющая прогресс и конкурентоспособность целых отраслей, производственно-сбытовых комплексов и корпораций и задающая им лидерские тренды. Не случайно ведущие компании в сфере микроэлектроники в последние десятилетия концентрировались в наиболее развитых странах, в составе которых формировался мощный кадровый и научный потенциал.

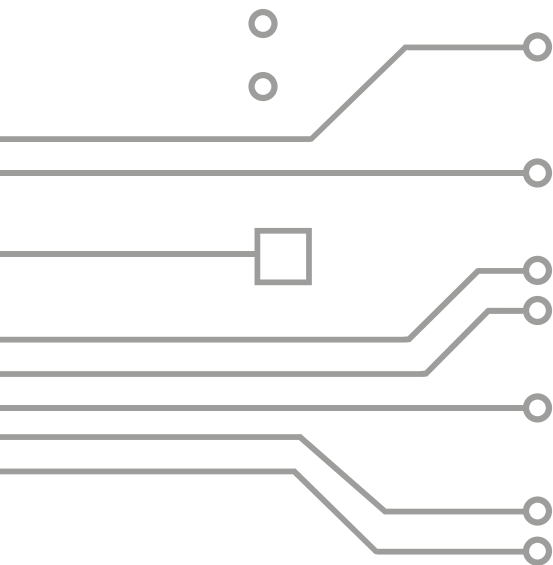
Выстраивая стратегию лидерства, высокоразвитые страны Запада «высасывали» талантливые кадры и умы со всего мира. Микроэлектроника и IT-бизнес получили на Западе, и прежде всего в США и их странах-партнерах, беспрецедентно благоприятные условия. Весь остальной мир рассматривался ими как второсортный и должен был существовать как потребитель готовых микроэлектронных изделий, да и то только там, где это не мешало стратегическим намерениям производителей-доминантов.

Развал Советского Союза пришелся Западным корпорациям как никогда кстати для дальнейшего укрепления своих позиций. Многие республики бывшего Советского Союза, а также восточноевропейские страны потеряли целые отрасли, предприятия и квалифицированные кадры. Понадеялись на обещанную Западом глобализацию и создание транснациональной мировой экономики, где все якобы на равных будут пользоваться ее благами. В реальности равенства не произошло, а образовался огромный разрыв между научно-техническим прогрессом Запада и Востока, а отсюда и беспрецедентная технологическая зависимость развивающихся стран от развитых.

В начале нового столетия первым увидел опасность концентрации ресурсов и кадров в США и других западных странах в области микроэлектроники Китай, который предпринял все возможное для ускоренного развития своей микроэлектронной промышленности. И добился независимости и мирового лидерства в ряде ведущих сфер и производств. Такую же проактивную политику стали проводить Индия, Сингапур, Япония, Южная Корея, Индонезия и другие так называемые азиатские тигры, которые вместе с лидерством построили наиболее успешный бизнес, приносящий преобладающие доходы.

В последние годы пришла к этому и Российская Федерация, которая стала быстро инвентаризировать советское наследие и инвестировать не только в модернизацию некогда процветающих микроэлектронных предприятий, но и в воссоздание целых отраслей и комплексов на современной базе. Все стали понимать, что высокоразвитая микроэлектроника – это прямая конкурентоспособность и безопасность ведущих отраслей и предприятий – военных, промышленных, сельскохозяйственных, обслуживающих и др. И это объективно, поскольку сейчас без новейшей микроэлектроники невозможны ни IT-технологии, ни искусственный интеллект, ни цифровизация, ни роботизация и их надежное программное обеспечение.

Мы решили узнать у Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси В.Г. Гусакова, как развивается отрасль в мире и каковы перспективы ее роста в нашей стране.



Уважаемый Владимир Григорьевич, что показывает сравнительный анализ стратегий развития микроэлектроники разных государств и как обстоят дела в Республике Беларусь?

— Очевидно, что развитие микроэлектронной промышленности находится под непосредственным контролем правительств всех развитых стран мира, где этой сфере задаются четкие параметры исходя из национальных интересов. Независимо – частный это сектор или государственный. Поэтому каждая страна имеет свои подходы в вопросах государственного регулирования, создания соответствующей научно-инновационной инфраструктуры, определения размеров финансирования и инвестирования, формирования системы мотивации и стимулирования.

Например, в США правительство и конгресс определили развитие сферы микроэлектроники не только в качестве основы национальной безопасности, но и как глобальную цель американской стратегии, кото-

рая должна позволить доминировать на мировом рынке полупроводников. С этой целью в конгрессе США приняли три законопроекта – American Foundries Act of 2020, Facilitating American-Built Semiconductors Act (FABs Act) и Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, или по иному CHIPS for America Act. Настоящие законопроекты предусматривают реализацию федеральной программы развития и программы НИОКР, стимулирование создания новых предприятий по производству информационных систем, модернизацию заводов по обеспечению потребностей национальной безопасности и критической инфраструктуры, налоговые льготы на покупку и строительство предприятий для производства полупроводников или обработки микросхем, средства на поддержку образовательных учреждений. Наряду с тем законопроект CHIPS for America Act учреждает Многосторонний фонд безопасности полупроводников, то есть механизм финансирования и взаимодействия между США и их зарубежными партнерами по обеспечению высокого качества и защиты цепочек поставки микроэлектроники. Также настоящий закон предусматривает создание Подкомитета по лидерству в области микроэлектроники, Национального института стандартов и технологий (для новейших испытаний, сборки и упаковки полупроводников в своей экосистеме), Национального центра полупроводниковых технологий, отвечающего, в частности, за создание прототипов новейших микросхем в соответствии с национальной стратегией.

Европейский союз нацелен в первую очередь на то, чтобы нарастить внутренний потенциал и сделать Европу долгосрочным промышленным лидером, увеличив ее производство, например, с 9% в 2021 г. до 20% к 2030 г., а также повысить устойчивость к сбоям в цепочке поставок. Для этого разработана стратегия «A Chips Act for Europe», которая предусматривает создание новых STEM-программ (science, technology, engineering and math) развития новой инфраструктуры и привлечения талантов из других стран. Эти меры являются частью общей стратегии поддержки высокоразвитой экосистемы европейской полупроводниковой промышленности в связи с быстрым развитием отрасли и усилением стимулирования инвестиций в эту сферу.

Названная стратегия подразделяется на пять областей:

- **исследования и разработки**, чтобы не отстать от глобальных конкурентов, где реализуются две ключевые программы «Горизонт Европа» и «Цифровая Европа»;
- **трансфер от лабораторий к производству**, где ставится задача более эффективного внедрения лабораторных исследований в промышленные инновации и рыночные продукты;
- **промышленное производство**, что предусматривает создание новейших интегрированных производственных мощностей и foundry-компаний для преодоления наметившегося отставания;
- **местная поддержка**, в контексте которой Европейская комиссия учредила «фонд микросхем ЕС» для реализа-

ции стартапов в области полупроводников, решения проблемы нехватки навыков и удержания сотрудников;

- **перестройка европейской цепочки поставок** – для быстрого реагирования на текущий дефицит и для активизации партнерских связей с США и другими ведущими странами в целях создания более устойчивой глобальной полупроводниковой сети.

Привлекательна в этой связи и специфика Китая. Правительство страны проводит самую активную политику по ускоренному развитию собственного производства и достижению максимальной независимости. В соответствии с этим в полупроводниковую промышленность и инфраструктуру инвестируются опережающие капиталы.

Сегодня структура китайской микроэлектронной промышленности представляет собой мощную завершенную комплексную систему, включающую все основные звенья – от разработки собственных инновационных микросистем, производства в промышленных масштабах до корпусирования и тестирования, а также подготовку высококвалифицированного персонала и его мотивацию, особенно в части подбора лучших умов. Вообще, что касается науки – это сейчас китайский приоритет во всех областях. Ученым создаются самые благоприятные условия (по мировым меркам) для эффективной деятельности.

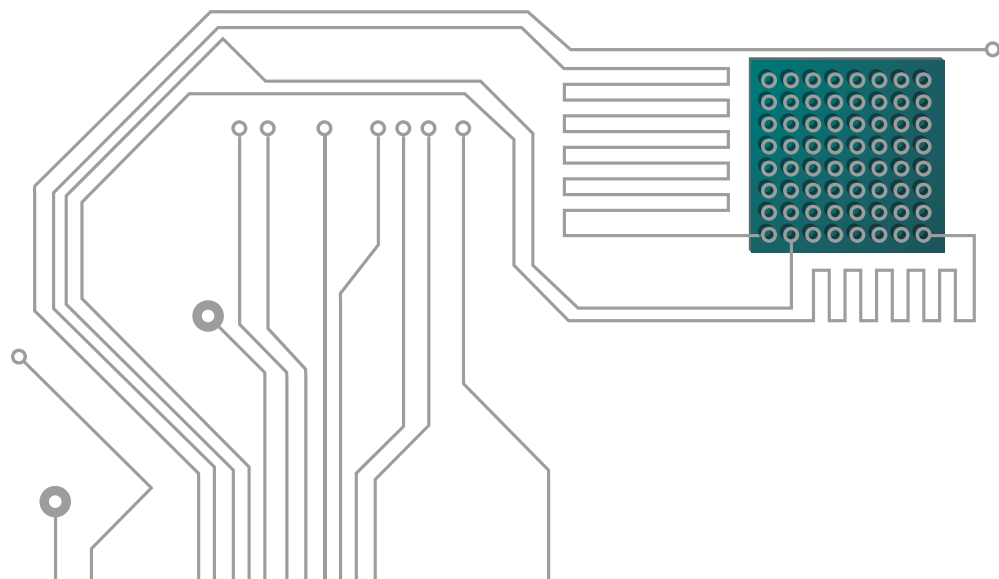
Правительством поставлена задача, чтобы не менее 70% микросхем, чипов и полупроводников, используемых китайскими компаниями,

к 2025 г. производились в Китае. Принята Национальная программа «Новая инфраструктура». А сейчас исходя из противостояния с Западом, намечается эти проценты самообеспечения еще нарастить.

В 2021 г. Всекитайское собрание народных представителей утвердило 14-й пятилетний план, в соответствии с которым технологическое развитие возведено в ранг проблемы национальной безопасности, где полупроводники определены в качестве важнейшей технологии. Новый импульс китайская полупроводниковая промышленность получила в 2022 г., когда Государственный совет опубликовал 14-й пятилетний план цифровой экономики, направленный на принципиальное расширение базового научно-исследовательского потенциала, повышение самодостаточности и укрепление безопасности в стратегических секторах. Это послужило беспрецедентному наращиванию инвестиций в данную сферу, причем как государственных, так и частных. Новые заводы по производству микросхем стали создаваться

не только в крупных центрах, но и в провинциях. Крупнейшие мировые компании выразили заинтересованность вкладывать свои капиталы и создавать новейшие полупроводниковые производства в Китае, в том числе производства особо чистых веществ и микросхем минимальной размерности (например, 28 нанометров).

В Российской Федерации также серьезно активизировалась работа по созданию завершенной инфраструктуры микроэлектронного производства. В 2020 г. принята Стратегия развития электронной промышленности до 2030 г., где прописан комплекс мер по переходу с импортной электронной комплексной базы (ЭКБ) на отечественную. В 2021 г. утвержден план по формированию и развитию спроса на собственную электронику, то есть по формированию российского рынка ЭКБ, радиоэлектронных приборов и систем. В настоящее время стратегия России ориентирована на выстраивание кооперационных цепочек между имеющимися производителями ЭКБ, радиоэлектронной аппаратуры и конечных изделий. Спрос



стал регулироваться госзаказами и квотированием, включая финансовые инструменты стимулирования предприятий. Важно, что Россия имеет уже свою комплексную программу развития всей ЭКБ, нацеленную на стратегическое обеспечение национальной самодостаточности. А учитывая сохранившиеся мощные советские заделы, в том числе и высококвалифицированные кадры, можно полагать, что России удастся совершить прорыв. Надо также сказать, что в 2021 г. в России утверждена и успешно реализуется дорожная карта по формированию и развитию спроса на отечественную электронику.

Что касается Республики Беларусь, то вопросы сохранения и поддержания сформированной еще при Советском Союзе основательной базы в сфере микроэлектроники, а также ее дальнейшего укрепления постоянно находятся на контроле Главы государства. Это позволило обеспечить достаточно успешное функционирование в течение всех лет независимости республики ряда получивших известность предприятий (ОАО «Интеграл», ОАО «Планар» и др.). Также это дало возможность поддерживать основной кадровый потенциал, в первую очередь высококвалифицированные научные кадры.

Область высоких технологий в республике постоянно находится на приоритетных позициях. Для этого приняты и реализованы многие программы фундаментальных и прикладных исследований, проведена модернизация предприятий, изысканы инвестиции. В качестве одного из таких решений последнего времени можно назвать

Указ Президента Республики Беларусь №156 от 07.05.2020 г., где важнейшими направлениями научно-технической деятельности на 2021–2025 гг. определены микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика, радиоэлектронные системы и технологии, приборостроение.

Так, только за последнее десятилетие НИОКР микроэлектронной направленности выполнялись в рамках конкретных заданий ключевых республиканских научно-технических программ («Бел-электроника», «Микроэлектроника», «Радиоэлектроника» и др.), государственных комплексных программ научных исследований («Электроника», «Нанотех», «Инфотех» и пр.), государственной программы научных исследований («Электроника и фотоника»), научно-технических программ Союзного государства («Космос-СГ», «Функциональная СВЧ-электроника-2», «Скиф» и т.п.).

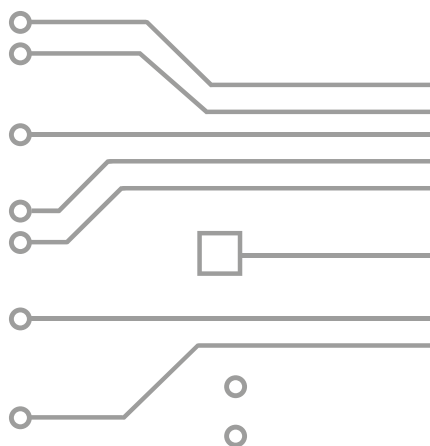
Решением Национальной академии наук Беларуси, Министерства промышленности, Министерства образования, Государственного военно-промышленного комитета создана координирующая структура – Межведомственный кластер «Микро-, опто- и СВЧ-электроника». В этой связи подписано и утверждено совместное соглашение о создании и деятельности кластера, положение о его функциях, структуре управления и деятельности, а также положение о Координационном совете кластера. В состав кластера вошли практически все ведущие научно-исследовательские организации и производственные предприятия, специализирую-

щиеся на электронной компонентной базе. Кластер работает с 2017 г., обсуждает актуальные проблемы и вырабатывает решения. А в Академии наук в 2018 г. сформировано Государственное научно-производственное объединение «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», которое выполняет основополагающие научные исследования и разработки.

Одним из основных результатов работы кластера и объединения стала разработка Концепции развития микроэлектронной промышленности в Республике Беларусь до 2030 г., содержащей в обобщенном виде все необходимые условия развития в стране микроэлектроники и полупроводниковой промышленности. В качестве еще одного примера целенаправленной совместной деятельности ученых и практиков можно привести разработку Перспективного плана сотрудничества Национальной академии наук Беларуси, вузов, ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «Интеграл» и ОАО «Планар» на 2021–2025 гг. Конечно, ключевыми игроками здесь являются прежде всего Академия наук, где сконцентрирован основной научный потенциал, а также ОАО «Интеграл», который занимает устойчивую нишу производства и обеспечивает всю технологическую цепочку – от науки до рынка.

Коренные задачи развития инфраструктуры микроэлектроники и процессорной техники рассматривались недавно на специальном совещании у Президента Республики Беларусь, где даны целевые поручения по комплексному обеспечению отрасли на принципиально новых уровнях. В контексте

мер поставлена задача подготовить Национальную программу развития микроэлектроники исходя из последних международных реалий и обеспечения нормального функционирования ведущих отраслей и предприятий страны на базе отечественных разработок.



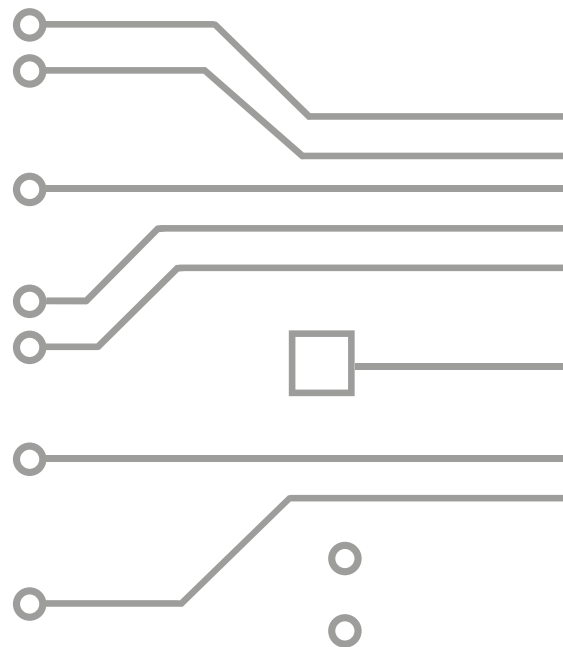
В последнее время стало модным применять слово «экосистема» в отношении развития наукоемких объектов. Сделаем такую же попытку. Какова экосистема современной микроэлектронной промышленности, например, в мире или в наиболее продвинутых регионах?

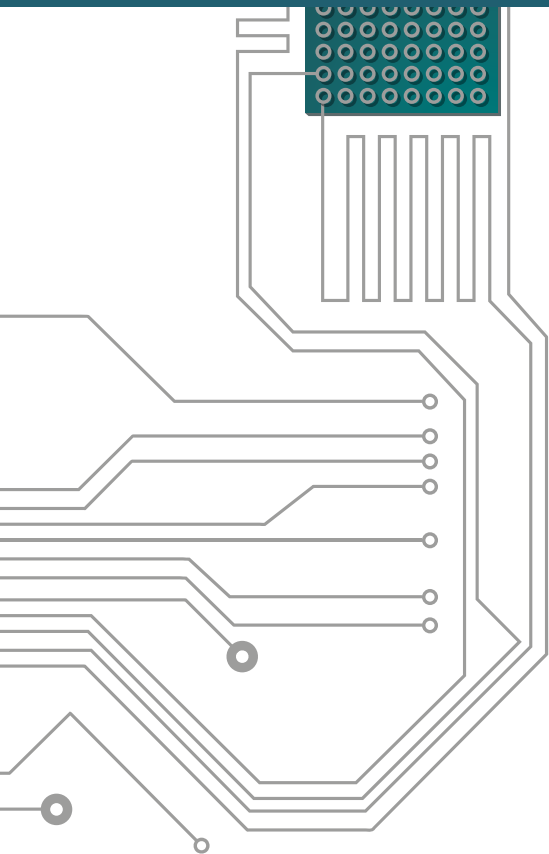
– Мировая микроэлектронная промышленность сегодня – это многоспециализированная и тесно переплетенная глобальная сеть предприятий и фирм со сложной системой взаимосвязей. Для производства, например, какого-то одного изделия микроэлектроники часто требуется выполнить более 1000 технологиче-

ских операций, элементы которых разбросаны по странам. Редко в какой стране все выполняется автономно и под ключ. Даже США, Япония, ЕС, Китай и другие страны не имеют полной собственной завершенной электронной компонентной базы. Надо учитывать тот факт, что многие годы эффективно работало международное разделение труда. Однако в последнее время, как известно, эта многолетняя практика активно пересматривается. Ведущие страны, руководствуясь сугубо своими интересами, стали проводить стратегию полного либо наиболее полного самообеспечения (исходя из наличия крупных финансовых возможностей), ограничили или прекратили поставки высокотехнологичных изделий в другие страны.

Следует хорошо представлять, что экосистема завершенной микроэлектронной промышленности состоит сейчас из следующих переделов: фундаментальные и прикладные исследования и разработки, проектирование, изготовление и сборка, дизайн, тестирование и упаковка. Эти этапы могут выполняться как в одной стране – одним или несколькими предприятиями-производителями полного цикла (в результате чего появляются микросхемы), так и в разных договаривающихся между собой странах, а также в отдельных самостоятельных компаниях. Известно, что для налаживания производства необходимы исходные ресурсы: материалы, оборудование, в том числе для кристалльного и сборочного производства, средства автоматизации и электронного проектирования, часто называемые САПР, а еще библиотеки конструкций

и расчетных моделей наиболее часто применяемых элементов и частей изделий с определенными функциями или так называемые IP-блоки. Поставщики этих ресурсов и формируют экосистему, а правильнее – инфраструктуру микроэлектронной промышленности, и распределены они исходя из разделения труда в глобальном плане очень неравномерно. Так, более 90% САПР в области микроэлектроники производятся компаниями США, а основной рынок IP-блоков контролируется примерно поровну США и Западной Европой. На рынке оборудования лидируют компании из США (более 40%), Японии (около 30%) и Западной Европы (более 20%). Понятное дело, что за многие годы крупных инвестиций эти страны и компании смогли создать настолько высокие технологии, что догоняющим их странам и предприятиям приходится ограничиваться лишь некоторыми доступными рыночными нишами.





■ Таким образом, воссоздание самодостаточной микроэлектронной промышленности – вопрос не только технологический, но и национальной безопасности?

– Абсолютно верно. Надо думать, что наблюдаемые сейчас общемировые геополитические сдвиги приобрели фундаментальный характер, а конфронтация Запада и Востока, в том числе в области электронной компонентной базы и в первую очередь полупроводников, растянется на длительный период. Вместе с тем надо также осознавать, что если свершится невозможное и будет достигнуто взаимопонимание, мир прежним уже не станет. Точка невозврата пройдена. Начинают формироваться и усиливаться, а значит будут действовать автономные системы круп-

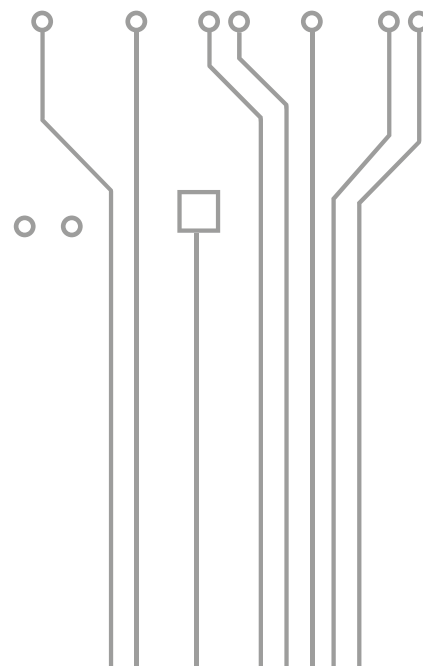
ных стран (США, ЕС, Китай, Япония) и территориальные объединения всех других, где можно рассматривать и союз Беларуси и России. В этих условиях вопрос восстановления и развития отечественной микроэлектронной инфраструктуры для нас перетекает из плоскости экономической в политическую и территориальную.

Электронная компонентная база становится сейчас критически важным фактором в системе инновационного, конкурентного и безопасного развития всех ведущих отраслей и производств, а ее дефицит может как снижать устойчивость и востребованность конечных изделий, так и препятствовать их выпуску. Поэтому для развития собственной отечественной инфраструктуры электронной компонентной базы нам важно сейчас прежде всего укрепить имеющийся научный потенциал и одновременно приступить в широком плане к разработке и освоению (в короткие сроки) новейших технологий, которые для наших разработчиков и производителей во многом станут прорывными, создать свои независимые библиотеки проектирования, дизайна, упаковки, включая и свои IP-блоки.

Достаточно сказать, что разработка новых технологий на Западе – это результат тесной интеграции большого числа компаний, научных институтов и университетов с оснащением их дорогостоящим ультра-современным оборудованием, созданным на основе кооперации, включая государственную поддержку. Чтобы понимать масштаб задачи, можно напомнить, что только штаб-квартира кампуса в Нидерландах в 2021 г. имела 24 тыс. ква-

дратных метров, где разместились научные и учебные центры, лаборатории, а также «чистые комнаты». Размеры научно-промышленных зон в области наноэлектроники в США, например компании Albany Nanotech Complex возле Нью-Йорка, где расположены штаб-квартира и основные исследовательские центры крупнейшего в мире альянса компаний по полупроводникам Sematech, еще более впечатляют. Это объединение было создано на базе 14 крупнейших американских производителей чипов с целью обеспечения безупречной конкурентоспособности, и сегодня оно включает такие компании, как IBM, Intel, Samsung и др. и занимает более 50% мирового производства чипов.

Цель подобных структур – объединить финансовые, материальные, интеллектуальные ресурсы и имеющиеся базы для создания новых компетенций, материалов и технологий в стремлении обеспечить лидерство на мировом рынке.



А что в этой связи мы можем предпринять в Беларуси?

– Конечно, масштабы у нас значительно меньше. Тем не менее научными исследованиями и практико-ориентированными разработками в области микроэлектроники в Республике Беларусь в той или иной мере занимаются: институты и предприятия НАН Беларуси, и прежде всего Объединенный институт проблем информатики, Минский НИИ радиоматериалов, Центр радиотехники, ГНПО «Оптики и оптоэлектроники и лазерной техники», Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий и др., группа научно-производственных предприятий Министерства промышленности во главе с холдингом «Интеграл», научно-исследовательские подразделения ряда вузов (БГУ, БГУИР, БГПА и др.), частные фирмы, работающие по фаблесс-бизнес-модели. Задача здесь – кооперировать все эти структуры, выработать меры, сконцентрировать финансовые и материальные ресурсы и мобилизовать на поставленные решения.

В Беларуси сохранились и развиваются сложившиеся научные школы и направления, занятые созданием современных микроэлектронных технологий и их применением. Вместе с тем текущая ситуация требует оперативной консолидации научно-инновационного потенциала, четкой его специализации и формулирования конечных целей и задач.

Конечно, невозможно одномоментно достичь схожих результатов с ведущими мировыми центрами-лидерами, которые изначально были ориен-

тированы на конкурентное превосходство и в этой связи формировали соответствующие инвестиции. Тем не менее нашим отечественным разработчикам также можно ставить амбициозные задачи, по крайней мере, в рамках действующих школ и имеющихся компетенций, и постепенно приближаться к лучшим мировым аналогам.

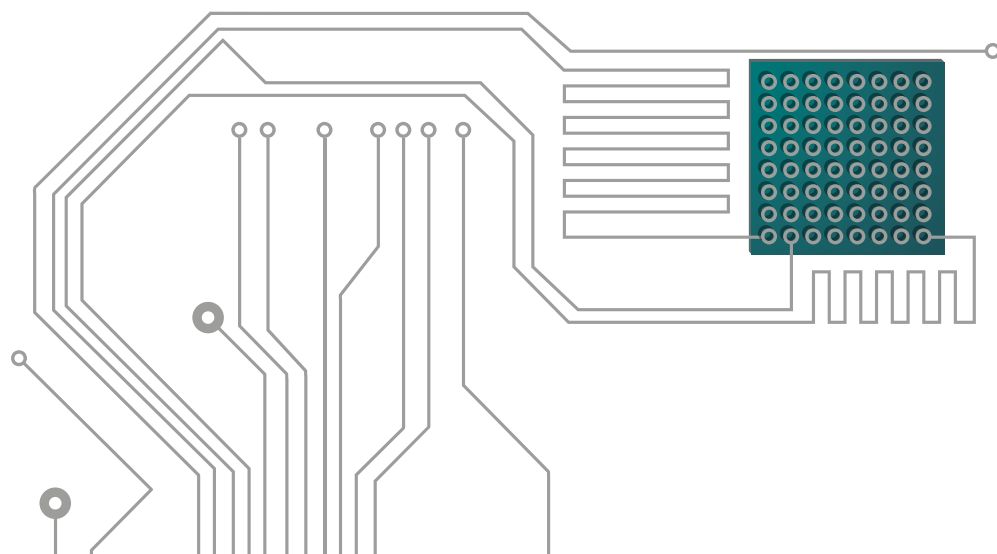
Пришло время признать, что развитие собственного микроэлектронного производства и обеспечивающей инфраструктуры является ключевым элементом технологической независимости страны, устойчивости и конкурентоспособности отечественной промышленности и играет ключевую роль в обеспечении национальной безопасности. В этой связи видится необходимость создания сильной интеграционной структуры вертикального типа, способной объединить производственные предприятия и научные организации по кооперационной цепочке с единым функциональным подчинением. Основной целью предполагаемой структуры должно быть обеспечение устойчивого функционирования и целевого развития

имеющейся системы микроэлектроники, а также формирование и развитие экосистемы микроэлектронного производства по подобию ведущих стран.

Конечно, все это может и должно происходить в кооперации с аналогичными российскими центрами и кластерами.

Наконец, в рамках означенной интеграционной структуры предстоит оперативно создать центр обучения и стажировки специалистов и разработчиков отечественной электронной компонентной базы и высокоподготовленных технологов микроэлектронного производства.

В качестве исходной крупной меры предполагается разработка (формирование) и последующая реализация первой Национальной программы развития микроэлектроники. Системообразующей организацией и базовым ядром видится Национальная академия наук Беларуси как имеющая научные школы, инновационные производства и способная интегрировать и нацелить различные структуры страны на достижение стратегических потребностей ведущих отраслей и предприятий. ■



ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

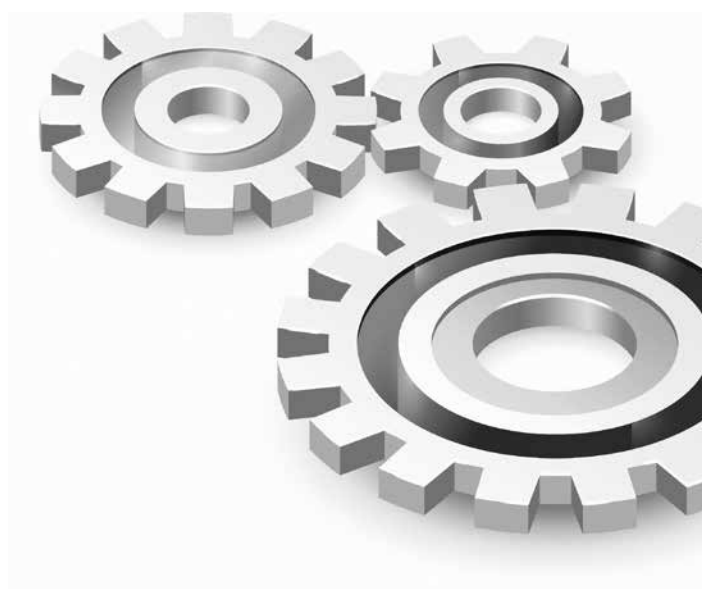
УДК 330.341.1:338.26



Валерий Байнев,
заведующий кафедрой
инноватики и
предпринимательской
деятельности БГУ, доктор
экономических наук,
профессор



Татьяна Гораева,
доцент кафедры инноватики
и предпринимательской
деятельности БГУ, кандидат
экономических наук, доцент



Резкое осложнение в последние годы геополитической ситуации на планете в целом и вокруг Беларуси в частности заставляет кардинально переосмыслить проблемы технологической безопасности нашей страны. Данное требование обусловлено тем, что на протяжении последних трех десятилетий возобладала иллюзия равноправного участия постсоветских стран в мировой системе разделения труда. Этому, в частности, способствовали весьма распространенные в экономической науке прагматичные теоретические представления в духе теории специализации и относительных преимуществ [1].

Согласно этим воззрениям, те или иные продукты следует производить там, где это выгодно, по причине наиболее благоприятных природно-географических и иных условий, а затем обмениваться произведенным на международных рынках. Так, еще Адам

Смит в 1776 г. писал: «Мудрость любого рачительного главы семьи заключается в том, чтобы никогда не пытаться самому сделать то, что дешевле купить...» (цит. по [1]). Иными словами, одни страны должны поставлять на мировые рынки сельхозпродукцию, другие – природные полезные ископаемые, третьи – энергоресурсы и т.п. При этом продвинутое в научно-технологическом плане державы в обмен на эти блага призваны снабжать своих партнеров по системе международной специализации результатами интеллектуальной деятельности, воплощающими те самые высокие технологии. Очевидно, что цена общественного производства всей совокупности продуцируемых человечеством благ при этом существенно снижается как для самих людей, так и для окружающей среды.

Постсоветские страны, вплоть до самого последнего времени демонстрировавшие приверженность подобному вхождению в международную систему разделения труда, логично рассчитывали на обеспечение собственной технологической безопасности за счет приобретения у лидеров наукоемкой продукции или же технологий их производства. Например, что касается отечественной практики обеспечения научно-технологической безопасности, то белорусские специалисты решают данную проблему в контексте государственных программ инновационного развития, традиционно формируемых и выполняемых в республике с 2006 г. Первые две из них были посвящены, главным образом, систематизации инновационных процессов в сфере передовых технологий и производств,

располагаемых Беларусью (табл. 1). По нашему мнению, период реализации этих госпрограмм целесообразно отождествлять с подготовительно-организационным этапом инновационного развития нашего государства.

После 2015 г. в стране также постепенно возобладала описанная выше концепция многовекторного стратегического партнерства, обещавшая нам приобщение к достижениям западной научно-технической мысли. Это нашло отражение в очередной, третьей по счету Госпрограмме инновационного развития на 2016–2020 гг., ориентированной преимущественно на адаптацию зарубежных передовых технологий к местным условиям. Исходя из этой особенности данный

период, на наш взгляд, правомерно именовать рецепционным этапом инновационного развития. Его главная особенность, с точки зрения предмета исследования данной статьи, – обеспечение технологической безопасности республики за счет свободного доступа к международному рынку высоких технологий и произведенных по ним продуктов.

Увы, описываемая в являющихся базовыми в отечественном экономическом образовании учебниках типа «Экономикс» [1] и потому захватившая наше воображение идиллическая картина мира, где якобы всецело господствуют свободные рынки (в том числе высоких технологий), стала быстро разрушаться в последние годы. Тому причиной стали

Этапы	Наименование государственной программы	Особенности
I	Государственные программы инновационного развития Республики Беларусь на 2006–2010 гг. и на 2011–2015 гг.	Подготовительно-организационный этап, заключающийся в процессе сбора и систематизации доступных (имеющихся в наличии) технологий. Основной принцип – объединить все значимые проекты по созданию технологий и производств, которые выполняются в разных отраслях экономики
II	Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 гг.	Рецепционный этап, связанный с накоплением технологий, в том числе зарубежных. В программу включены только те проекты и мероприятия, которые соответствуют высоким критериям инновационности. Инновационное развитие во многом осуществлялось за счет трансфера зарубежных технологий
III	Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг.	Контокоррентный этап, направленный на разработку, накопление и использование собственных технологий. Системная переориентация инновационного развития страны с трансфера зарубежных технологий на внедрение отечественных разработок. Цель – достижение Республикой Беларусь уровня инновационного развития стран – лидеров Восточной Европы. Основным источником инноваций – собственный интеллектуальный потенциал

Таблица 1. Основные этапы инновационного развития в Республике Беларусь

Источник: составлено авторами на основании анализа доклада первого заместителя ГИИТ А.А. Косовского на Международной научно-практической конференции, состоявшейся 7–8 октября 2021 г. в Институте экономики НАН Беларуси



Рисунок. Ключевые факторы, определяющие конкурентоспособность и безопасность экономических систем, согласно методологии Всемирного экономического форума

таможенные барьеры, торговые войны и санкции, охватившие практически всю мировую экономику и пытающиеся сдержать технологическое развитие наступающих им в последнее время на пятки конкурентов в лице Китая, Индии, России и т.д.

После известных событий августа 2020 и февраля 2022 г. Республика Беларусь как ближайшая союзница Российской Федерации во многом оказалась отлученной от западных рынков высоких технологий и произведенной с их использованием продукции. В частности, сегодня в так называемый санкционный перечень попали многие предприятия, не просто являющиеся визитными карточками белорусской экономики, но и определяющие уровень ее технологичности, такие как ОАО «Беларуськалий», «МАЗ», «БелАЗ», «Интеграл», «АГАТ-электрохимический завод», КБ «Радар» и др.

Важно понимать, что санкции связаны не просто с запретом на распространение продукции этих субъектов в западных странах, что бьет по экспортным доходам республики, но и с ограничениями на передачу белорусским компаниям передовых технологий, а также компонентов, с помощью которых их можно реализовать. Эти ограничения включают в себя запреты как на продажу высокотехнологичного оборудования, так и соответствующих изделий, с помощью которых мы могли бы сами его создавать. Например, учитывая актуальность цифровой индустриализации как процесса оснащения экономики и социума управляемыми микроэлектроникой техническими устройствами, сперва были перекрыты поставки нам технологического оборудования по производству микросхем, затем – комплектующих и расходных материалов к нему, а в итоге – и самих

микросхем. Вероятнее всего, набор санкций и перечень находящихся под ними предприятий будут только расширяться. Понятно, что в сложившихся условиях преимущественно рецепционная стратегия инновационного развития Беларуси не способна обеспечить приемлемый уровень ее технологической безопасности.

Как реакция на столь неблагоприятные внешние воздействия в нашей стране была существенно скорректирована инновационная политика, что нашло отражение в ныне реализуемой Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. [2].

Ее ключевая особенность – упор на создание, развитие и использование отечественных технологий, по сути дела, переориентация с трансфера зарубежных достижений научно-технической мысли на внедрение белорусских разработок, что соответствует новой конкурентной стратегии технологического развития республики (табл. 1). Поскольку лейтмотивом указанной программы является ускоренный рост высокотехнологичных производств и секторов экономики, можно сделать вывод, что целью указанной корректировки со всей очевидностью было обеспечение (повышение) технологической безопасности нашей страны. При этом, однако, в тексте программы термин «технологическая безопасность» даже не встречается, а главной ее целью обозначено «повышение конкурентоспособности национальной экономики с учетом обеспечения ее инновационного развития» [2]. Вместе с тем заме-

тим, что, с точки зрения действующей методологии Всемирного экономического форума, одним из ключевых факторов конкурентоспособности национальной экономики выступает степень развития применяемых в ней технологий, или уровень ее технологичности (рисунок). К слову, в действующей программе инновационного развития в качестве одной из целевых задач обозначено достижение Республикой Беларусь уровня инновационного, по сути дела, технологического развития стран – лидеров Восточной Европы [2]. Таким образом, в рамках достижения обозначенных в новой программе на 2021–2025 гг. целей, на наш взгляд, актуализируются проблемы, связанные с количественным и качественным анализом технологичности и технологической безопасности экономических систем (предприятий, отраслей, регионов, национальных экономик в целом).

Для выбора шкалы количественного определения уровня технологичности экономических систем предлагаем опереться на известную в Союзном государстве Беларуси и России систему периодизации Д. Львова – С. Глазьева, предполагающую выделение шести технологических укладов [3, 4]. В соответствии с ней уровень вполне правомерно идентифицировать конкретным действительным числом из интервала от 1 до 6 (по количеству выделяемых технологических укладов), которое должно отражать принадлежность к тому или иному техноукладу доминирующих в экономике технологий. Данный подход использован нами в методике количественного и качественного опреде-

Уровень технологичности (технологический потенциал) национальной экономики	Низкотехнологичная патриархальная экономика	Низкотехнологичная экономика	Среднетехнологичная экономика низкого уровня (средненизкотехнологичная экономика)	Среднетехнологичная экономика высокого уровня (средневысокотехнологичная экономика)	Высокотехнологичная экономика
Показатель уровня технологичности национальной экономики (TL)	<2,5	2,50–3,49	3,50–4,49	4,50–5,49	>5,49

Таблица 2. Шкала идентификации уровня технологичности (технологического потенциала) национальной экономики
Источник: [5]

ления уровня технологичности национальной экономики, разработанной при выполнении НИР «Развитие высокотехнологического сектора экономики как фактор обеспечения научно-технологической безопасности Республики Беларусь» (ГПНИ «Общество и гуманитарная безопасность белорусского государства») [5]. При этом мы исходили из того, что, согласно Европейскому классификатору видов экономической деятельности, существующие производства относятся к высокотехнологичным, среднетехнологичным высокого уровня, среднетехнологичным низкого уровня и низкотехнологичным видам экономической деятельности. В связи с этим правомерно идентифицировать их соответственно числами 6, 5, 4 и 3. Заметим, что теоретически возможно выделить низкотехнологичные отсталые и низкотехно-

логичные архаичные производства, обозначив их цифрами 2 и 1. Однако удельный вес этих технологий в современных экономиках столь незначителен, что ими допустимо пренебречь.

Показатель уровня технологичности национальной экономики TL («technological level») (например, национальной экономики) определяется по формуле средневзвешенного значения, в которой вариантами выступают номера технологических укладов 1, 2, 3, 4, 5 и 6, а весами – удельные вклады в ВВП видов экономической деятельности, соответствующих каждому из этих укладов [5, 6]. С использованием табл. 2, исходя из рассчитанного по данной формуле количественного показателя уровня технологичности, можно дать качественную характеристику технологическому развитию экономической системы.

Год	2010	2015	2020
Показатель уровня технологичности белорусской национальной экономики TL	3,26	3,42	3,52

Таблица 3. Динамика показателя уровня технологичности белорусской экономики

Страна или регион	Год					
	1950	1975	1990	2000	2010	2020
Россия	2,8	3,4	3,9	3,6	3,6	3,7
Развитые страны	3,1	3,7	4,1	4,2	4,4	5,2
Мир в целом	2,7	3,2	3,4	3,7	3,8	3,9

Таблица 4. Сравнительная динамика изменения значения среднего технологического уклада TL в некоторых странах и регионах мира в период 1950–2020 гг.

Источник: разработано по [8]

Апробация методики количественного и качественного определения уровня технологичности национальной экономики с использованием статистических данных Республики Беларусь [7] позволила выявить его белорусскую динамику (табл. 3). Согласно ее анализу, Республика Беларусь демонстрирует умеренное технологическое развитие, причем в последние годы в ее экономике произошел качественный сдвиг (табл. 2 и 3), и она из категории «низкотехнологичная» перешла на уровень «среднетехнологичная низкого уровня».

Учитывая представленные в научных публикациях сведения о среднем технологическом укладе некоторых стран и регионов мира (табл. 4), также можно констатировать отставание Республики Беларусь

как от лидеров мировой экономики, так и от союзной Российской Федерации по уровню технологичности экономики.

Это со всей очевидностью актуализирует проблему технологической безопасности государства, под которой предлагается подразумевать текущий уровень технологичности национальной экономики и его динамику, обеспечивающие ее глобальную конкурентоспособность, понимаемую как способность снабжать себя всеми необходимыми ресурсами достаточного качества и в количествах, предопределяющих выживание (функционирование) этой системы как в настоящее время, так и в обозримой перспективе с учетом потенциального нарастания ресурсного дефицита и необходимости ее развития в неблагоприят-

ных внешних условиях, включая противодействие конкурентов. При разработке методики определения уровня технологической безопасности национальной экономики мы исходили из того, что на этот показатель в анализируемой догоняющей (отстающей) экономике, с одной стороны, влияет ее текущее отставание от основных (типичных) конкурентов по уровню технологичности, которое не должно превышать 0,5 технологического уклада на момент сравнения, а с другой – он количественно и качественно зависит от периода времени Δt (табл. 5), в течение которого этот уровень достигнет соответствующего уровня экономики типичного (догоняемого) конкурента. При этом разработанная эконометрическая модель позволяет исчислять указанный временной интервал Δt с учетом соотношения динамики изменения уровня технологичности любых сравниваемых экономик.

Так, например, при сопоставлении белорусской экономики с наиболее развитыми странами мира (табл. 3 и 4) на основе предложенной нами методики приходится диагностировать кризисный уровень технологической безопасности республики в рамках глобальной эко-

Уровень технологической безопасности экономической системы	Условие
Высокий	$\Delta t \leq 5$
Средний	$5 < \Delta t \leq 10$
Удовлетворительный	$10 < \Delta t \leq 15$
Низкий	$15 < \Delta t \leq 25$
Кризисный	$\Delta t > 25$

Таблица 5. Шкала оценки технологической безопасности догоняющей национальной экономики

номики, поскольку при существующем соотношении динамик указанного уровня $\Delta t > 25$ (табл. 5). Однако если за эталон сравнения принять Российскую Федерацию, то для обеих стран интервал $\Delta t = 11$. Следовательно, при ныне существующем соотношении динамик Беларусь догонит Российскую Федерацию через 11 лет, что свидетельствует об удовлетворительном уровне технологической безопасности белорусской экономики в рамках Союзного государства. В любом случае нашей стране необходимо предпринять серьезные меры по повышению своей технологической безопасности.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации.

По уровню технологичности белорусская экономика относится к средневысокотехнологическим экономическим системам, что соответствует преимущественно четвертому технологическому укладу и весьма существенно уступает соответствующему уровню мировых лидеров технико-технологического прогресса.

В рамках Союзного государства наша страна демонстрирует удовлетворительный уровень технологической безопасности, поскольку сможет догнать российскую экономику по уровню технологичности примерно через 11 лет. Однако если сравнивать Беларусь с наиболее передовыми государствами мира (США, Германия, Франция, Япония, Израиль и др.), то ее уровень следует признать кризисным, поскольку при существующих соотношениях текущего отставания и технологических темпов отечественная

экономика никогда не догонит международных лидеров, что свидетельствует о серьезных проблемах инновационного и технологического развития.

Для решения указанных проблем нами рекомендовано ввести показатель уровня технологичности национальной экономики в число статистически учитываемых и количественно планируемых индикаторов технико-технологического прогресса белорусской экономики и социально-экономического развития страны в целом. Это позволит не просто осуществлять мониторинг динамики технологического уровня по указанному количественному критерию, но и целенаправленно планировать и контролировать ее. Например, в программных документах можно запланировать целевое увеличение показателя уровня технологичности национальной экономики с нынешнего значения 3,52, положим, до 4,25 к 2030 г. Заметим, что он, в отличие от такого типового критерия, как наукоемкость ВВП, ограничивающегося учетом расходов на стадии НИОКР, позволяет оценивать эффективность инновационного процесса в целом, включая стадию производства продукции того или иного технологического уровня.

Технологическая безопасность – важная составная часть глобальной конкурентоспособности, а значит, экономической и национальной безопасности государства. Целенаправленное повышение ее уровня путем регламентированного уменьшения предложенного нами показателя Δt – времени отставания анализируемой догоняющей экономики по уровню технологичности от соответствующего

показателя конкурентов – также предлагается включить в число технико-технологических приоритетов. Так, в программных документах, определяющих динамику инновационного развития нашей страны, можно определить задание до 2030 г. обеспечить повышение уровня технологической безопасности государства в рамках мировой экономики с нынешнего кризисного уровня до удовлетворительного путем сокращения времени отставания от развитых стран Δt , например, до 15 лет. При этом наличие количественного показателя позволит эффективно контролировать ход выполнения данного задания. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макконнелл К.Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика: пер. с 14-го англ. изд. / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю. – М., 2003.
2. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. / под ред. А.Г. Шумилина. – Минск, 2021.
3. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития / С.Ю. Глазьев. – М., 1993.
4. Глазьев С.Ю. Рывок в будущее. Россия в новых мирохозяйственном и технологическом укладах. – М., 2018.
5. Чжан Б. Промышленный и технико-технологический прогресс Китая: китайская цивилизация на пути к экономике знаний; под науч. ред. проф. В.Ф. Байнева / Б. Чжан, В.Ф. Байнев. – Минск, 2021.
6. Гораева Т.Ю. Высокотехнологичный сектор экономики: состояние, тенденции, механизмы формирования и развития / Т.Ю. Гораева. – Гродно, 2020.
7. Объем промышленного производства по видам экономической деятельности Нац. стат. комитет Респ. Беларусь // <https://minsk.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statisticheskaya-informatsiya/ekonomicheskaya-statistika/promyshlennost/godovye-dannye/>.
8. Олимов С.И. Формирование механизма управления модернизацией экономики Республики Таджикистан: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / С.И. Олимов; БГУ. – Минск, 2018.

МИКРОБИОМ-АССОЦИИРОВАННАЯ МЕДИЦИНА:

Аннотация. На протяжении последних двух десятилетий микробное сообщество организма – микробиота – признано фундаментальным фактором, определяющим физиологию и патологию человека. Микробиом является вариабельной системой, которая не только адаптируется к сигналам и информации, поступающей от человека, но и влияет на своего хозяина. Перспективным направлением клинической медицины является прогнозирование изменений микробиома у спортсменов, людей с различными заболеваниями, после применения лекарственных средств, в том числе антибактериальных, хирургических вмешательств, что приведет к пониманию путей и методов их коррекции. Разрабатываются принципиально новые и инновационные технологии создания фармакологически активных компонентов на основе микробиома здоровых людей, которые в дальнейшем могут быть использованы для поддержания и восстановления стабильности и функционирования экосистемы человека.

Ключевые слова: микробиота, микробиом, трансплантация фекальной микробиоты.

Для цитирования: Стома И., Малаева Е. Микробиом-ассоциированная медицина: как связаны мир микробов и мир людей? // Наука и инновации. 2022. №8. С. 18–22. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-18-22>



Игорь Стома,
ректор Гомельского
государственного
медицинского университета,
доктор медицинских наук,
академик РАЕН



Екатерина Малаева,
завкафедрой внутренних
болезней №1 с курсами
эндокринологии и
гематологии Гомельского
государственного
медицинского университета,
кандидат медицинских наук,
доцент

На протяжении многих лет микроорганизмы, проживающие в теле человека, оставались за границей пристального научного изучения, а ведь именно они составляют до 90% общего числа клеток в организме, каждый из которых по составу своего микробиома абсолютно уникален [1].

Накопление новых научных знаний позволило изменить концепцию естественной микробиоты и признать ее жизненно важной частью тела или экстракорпоральным органом, необходимым для поддержания здоровья. Взаимодействие микробиоты и организма осуществляется на принципах мутуализма – при этом пользу извлекают оба. С одной стороны, организм человека является для отдельных микроорганизмов средой обитания, заключающейся в поставке энергетических ресурсов, обеспечении тепла, газового состава, а также средством диссеминации в пространстве. С другой стороны, микробиота



КАК СВЯЗАНЫ МИР МИКРОБОВ И МИР ЛЮДЕЙ?

УДК 579.61:616-093

кишечника синтезирует метаболиты (короткоцепочечные жирные кислоты, вторичные желчные кислоты, нейротрансмиттеры и др.), которые играют ключевую роль в регуляции динамического постоянства внутренней среды и устойчивости основных физиологических процессов организма, а также патогенезе некоторых заболеваний [2–4]. С помощью микроорганизмов человек способен выполнять функции, которые не кодируются собственным геномом. Однако микробиом не только поддерживает гомеостаз организма и здоровье человека, но и выступает резервуаром генов лекарственной устойчивости и патогенности.

Большинство исследований в этой области основаны на определении последовательности переменных областей высококонсервативного гена, кодирующего 16S субъединицу рибосомальной РНК (16S рРНК) микроорганизмов, но этот метод не позволяет определять вирусы и грибы и не предоставляет информацию о функции микробиоты. В связи с этим дополнительно

используются методы метагеномики с секвенированием полного генома, метатранскриптомики и метаболомики с изучением продуктов метаболизма клеток хозяина и микроорганизмов. Это привело к пониманию, что некоторые органы и системы, которые считались ранее стерильными (например, плацента, легкие, мочевой пузырь), имеют свой оригинальный набор микроорганизмов, которые взаимодействуют между собой и окружающими клетками хозяина, обеспечивая гомеостаз [1, 5].

Несмотря на большое количество исследований, границы между эубиозом и дисбиозом не установлены. Состав микробиоты зависит от генотипа хозяина и факторов окружающей среды, в том числе характера питания, физической активности, приема антибактериальных лекарственных средств и варьирует у разных людей, у пациентов с дисбиозом – в более широких пределах, чем у здоровых (принцип «Анны Карениной»). Динамический характер микробиоты, способность изменяться

и адаптироваться при модификации образа жизни, воздействии некоторых изученных факторов и компонентов персонализированных продуктов открывает новые перспективные направления медицинской профилактики и лечения заболеваний, спортивной медицины. Индивидуальные, не всегда предсказуемые трансформации микробиома в ответ на модифицирующие факторы могут быть обусловлены уникальностью видового состава и функционального потенциала микроорганизмов каждого человека [1–3].

Микробиом кишечника – в центре внимания

Микробиота желудочно-кишечного тракта является самой многочисленной, наибольшее количество микроорганизмов содержится в толстой кишке. Некоторые ученые выделяют энтеротипы в зависимости от преобладания одного из бактериальных родов. Однако исследования в рамках Human Microbiome Project показали, что

четкая категоризация (кластеризация) микробиоты фактически невозможна, и правильнее говорить не о существовании энтеротипов, а о наличии непрерывного градиента микробных сообществ [1].

Ключевая микробиота, в состав которой входят виды, отвечающие за основные метаболические функции, образует стабильные популяции в течение длительных периодов времени – от 1 года до 10 лет и более [1, 2, 5]. Применение антибактериальных лекарственных средств сопровождается серьезными нарушениями микробиома кишечника. Например, антибиотики с выраженной активностью против анаэробов вызывают длительное снижение относительной численности *Bifidobacterium* (ципрофлоксацин, клиндамицин) и *Bacteroidetes* (клиндамицин) [6], β-лактамы и фторхинолоны приводят к увеличению соотношения филумов *Bacteroidetes/Firmicutes* и уменьшению микробного разнообразия за счет сокращения основной филогенетической микробиоты с 29 до 12 микробных таксонов [7]. В результате антибактериальной терапии происходит кратковременное или стойкое снижение микробного разнообразия и функционального потенциала микробиома кишечника, повышение восприимчивости к инфекционным заболеваниям, нарастание антибиотикорезистентности бактерий, диффузия резистентных генов в пределах микробиома. Такими же эффектами сопровождается прием лекарственных средств других групп, таких как антидиабетические средства, ингибиторы протонной помпы, нестероидные противовоспалительные, атипичные антипсихотические средства, блокаторы кальциевых каналов [1, 8, 9].

Значение кишечной микробиоты в развитии патологических состояний многих органов и систем стало очевидным после открытия осей взаимосвязи «микробиота кишечника – головной мозг», «микробиота кишечника – печень», «микробиота кишечника – дыхательная система», «микробиота кишечника – урогенитальный тракт», что сделало этот орган основным, отвечающим за здоровье человека. Например, в исследовании Dubourg G., et al. (2020) установлено, что 64% видов бактерий в образцах мочи совпадают с идентифицированными видами в микробиоте кишечника [10]. Кроме того, снижение частоты рецидивирующих инфекций мочевыводящих путей после трансплантации фекальной микробиоты может подтверждать гипотезу взаимосвязи микробиоты кишечника и уробиоты [11, 12], что открывает перспективные направления лечения заболеваний урогенитального тракта с помощью модификации кишечной микробиоты.

Роль и место микробиома в клинической медицине

Ассоциации спектра и характеристик микробиома доказаны в ряде инфекционных и неинфекционных заболеваний, а современные изыскания вышли далеко за пределы классического понимания роли микроорганизмов в нормальной и патологической физиологии человека. Исследования микробиома теперь актуальны во многих областях науки, которые ранее считались никак не связанными с микроорганизмами, например изучение циркадного ритма, нейрофизиология, онкология, трансплантология, судебно-медицинская экспертиза [1].

Многочисленные научные исследования установили взаимосвязь между дисбалансом кишечного микробиома и развитием соматических и психических недугов, таких как ожирение, сахарный диабет, бронхиальная астма, аллергические заболевания, цирроз печени, рассеянный склероз, болезнь Альцгеймера и многих других [1, 5].

В области трансплантологии солидных органов изучение микробиома только начинает активно развиваться, но уже ясно, что ряд исходов трансплантации, таких как риск инфекционных осложнений, отторжения органа и других иммунологических нарушений, зависит от состава микробного сообщества реципиента, а зачастую и микроорганизмов донорского органа. Нарушения кишечного микробиома описаны у больных с циррозом печени. Кроме того, есть данные о том, что трансплантация печени может быть связана с коррекцией нарушения кишечного микробиома [1, 13]. При пересадке почки те пациенты, которые вначале имели меньшее разнообразие кишечного микробиома, отличались большим риском развития диареи в течение первых 90 дней после трансплантации [1, 14].

Значимая роль микробиом-ассоциированной медицины заключается в прогнозировании осложнений и исходов заболевания на основе характеристик микробиома человека. Например, показано, что снижение биоразнообразия кишечного микробиома и динамика соотношения основных таксономических типов бактерий (уменьшение относительной численности *Bacteroidetes* при увеличении количества *Proteobacteria*) является важным предиктором негативных исходов и инфекций кровотока у пациен-

тов после аллогенной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток [15].

Не менее важное направление – развитие микробиом-ассоциированной диагностики, то есть разработки биомаркеров, которые необходимы для выбора оптимального лекарства и/или режима дозирования для конкретного пациента на основе данных о характеристиках его микробиома. В настоящее время уже можно использовать в клинической практике знания о микробных метаболитах, видах бактерий или семействах генов, связанных с лекарственными средствами [1].

Перспективные методы коррекции микробиома

Модификация или модулирование микробиома предполагает воздействие, направленное на благотворное изменение нарушенной или истощенной микробиоты.

В связи с появлением новых знаний о биологически активных ингредиентах микробиома человека и компонентах персонализированных продуктов (пребиотиках, паробиотиках, постбиотиках, аутопробиотиках) в науке сформировалось новое междисциплинарное направление – нутригеномика микробиома [3]. Однако упрощенные представления о потенциальном влиянии пре-, пробиотиков и других компонентов на микробиом кишечника не отражают реальной сути проблемы и могут приводить к отсутствию должного ответа на вмешательство или даже к развитию негативных эффектов [1].

Трансплантация фекальной микробиоты (ТФМ) уже вошла в рутинную практику онкологических, гематологических и мно-

гопрофильных медицинских центров по всему миру. ТФМ может рассматриваться в качестве альтернативного способа лечения *Clostridioides difficile*-ассоциированной инфекции [16], многих заболеваний и расстройств, связанных с изменением микробиоты кишечника – метаболических, функциональных и воспалительных, печени, аутоиммунных, гематологических, нейродегенеративных, аллергических, аутизма, злокачественных новообразований, при резистентности к антибактериальным препаратам [1]. Для снижения риска возникновения возможных нежелательных реакций после проведения ТФМ – передачи генов резистентности к антибиотикам, штаммов бактерий с генами патогенности, неидентифицированных видов бактерий с неуточненной функцией – разрабатываются и совершенствуются методы тщательного скрининга доноров. Кроме того, проводится поиск и создание новых индивидуальных терапевтических средств на основе защитных факторов микробиоты. Для снижения неблагоприятных последствий ТФМ перспективно введение пациенту микробных коктей-

лей и аутопробиотиков, включающих семейства *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, *Bacteroidetes* [1]. Другие виды микроорганизмов могут быть использованы в зависимости от конечной цели. Например, получение экспериментальными животными с почечной недостаточностью трех штаммов бактерий фекальной микробиоты (родов *Escherichia*, *Bacillus*, *Enterobacter*), которые метаболизируют мочевину и креатинин в аминокислоты, приводит к значительному снижению концентрации мочевины и креатинина в крови и не вызывает побочных эффектов [17]. Перспективно изучение эффективности и безопасности микробных коктейлей у спортсменов и пациентов с различными заболеваниями [1, 5, 18].

Масштабное применение антибактериальных лекарственных средств привело к развитию инфекций, возникающих на фоне колонизации организма пациентов антибиотикорезистентными патогенами, например, ванкомицинрезистентными энтерококками, метициллинрезистентным золотистым стафилококком и чрезвычайно резистентными энтеробактериями. В связи



Рисунок. Компоненты микробиом-ассоциированной медицины

с высоким повреждающим потенциалом классических антибактериальных лекарственных средств рассматриваются альтернативные методы целенаправленного воздействия на патогенные микроорганизмы – назначение таргетной антибактериальной терапии, малых молекул, бактериофагов, CRISPR-Cas9 методов генной инженерии, которые будут внедрены в клиническую практику [1].

Несомненно, новые молекулярно-генетические методы исследования микробного сообщества внутри организма человека позволили ощутимо продвинуться в понимании того, насколько они необходимы друг другу и как это взаимодействие можно использовать в медицине.

Сегодня она основывается на принципах профилактики, персонификации, предиктивности и участия пациентов. Под профилактикой понимается комплекс мер, включающий не просто предотвращение конкретных заболеваний, но и распространение принципов здорового образа жизни. Персонификация предполагает индивидуальные диагностику и подходы к лечению, в том числе к выбору лекарств, режимов дозирования, и даже применение персональных терапевтических препаратов. Что касается предиктивной медицины, то при использовании информации о генах конкретного человека или его микроорганизмов можно прогнозировать тяжелые заболевания и отсрочить их или даже предотвратить. И, наконец, участие пациентов предполагает такую форму организации медицины, которая способствует повышению ответственности человека за свое здоровье и приводит к сотрудничеству со специалистами. Именно знание характеристик микробиома кон-

кретного человека позволит реализовать эти направления высокотехнологичной микробиом-ассоциированной медицины (рисунки).

Изучение взаимодействия мира микробов и мира людей активно проводится белорусскими учеными наряду с российскими и зарубежными исследо-

вателями, первая русскоязычная монография по микробиому человека (2018) и первое руководство для врачей (2020) на русском языке подготовлены белорусскими авторами, что в совокупности способствует расширению познаний в области микробиома и развитию персонализированной медицины. ■

■ **Summary.** Over the past two decades, the microbial community of an organism – the microbiota – has been recognized as a fundamental factor determining human physiology and pathology. The microbiome is a variable system that not only adapts to signals and information coming from humans, but also affects its host. A promising area of clinical medicine is the prediction of changes in the microbiome of athletes, in people with various diseases, after the use of medicines, including antibacterial, surgical interventions, which will lead to an understanding of ways and methods of their correction. Fundamentally new and innovative technologies are being developed to create pharmacologically active components based on the microbiome of healthy people, which can later be used to maintain and restore the stability and functioning of the human ecosystem.

■ **Keywords:** microbiota, microbiome, fecal microbiota transplantation

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-18-22>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стома И.О. Микробиом в медицине / И.О. Стома. – М., 2020.
2. С.И. Ситкин. Метаболический дисбиоз кишечника и его биомаркеры / С.И. Ситкин, Е.И. Ткаченко, Т.Я. Вахитов // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2015. Т. 124, №12. С. 6–29.
3. Жебраковские чтения X / В.Н. Даниленко [и др.] / отв. ред. А.В. Кильчевский. – Минск, 2021.
4. A. A. Kolodziejczyk. Diet-microbiota interactions and personalized nutrition / A. A. Kolodziejczyk, D. Zheng, E. Elinav // Nat. Rev. Microbiol. 2019. Vol. 17, N12. P. 742–753.
5. Е.Г. Малаева. Инфекции мочевыводящих путей и микробиота // Проблемы здоровья и экологии. 2021. Т. 18, №3. С. 5–14.
6. M.-U. Rashid. Development of antimicrobial resistance in the normal anaerobic microbiota during one year after administration of clindamycin or ciprofloxacin / M.-U. Rashid, A. Weintraub, C.E. Nord // Anaerobe. 2015. Vol. 31. P. 72–77.
7. Short-term effect of antibiotics on human gut microbiota / S. Panda [et al.] // PLoS One. 2014. Vol. 9, N4. P. e95476.
8. Extensive impact of non-antibiotic drugs on human gut bacteria / L. Maier [et al.] // Nature. 2018. Vol. 555, N7698. P. 623–628.
9. Papenfort K. Quorum sensing signal-response systems in gram-negative bacteria / K. Papenfort, B.L. Bassler // Nat. Rev. Microbiol. 2016. Vol. 14, N9. P. 576–588.
10. Deciphering the urinary microbiota repertoire by culturomics reveals mostly anaerobic bacteria from the gut / G. Dubourg [et al.] // Front. Microbiol. 2020. Vol. 11. P. 1–8.
11. Urinary Microbiome: yin and yang of the urinary tract / V. Perez-Carrasco [et al.] // Front. Cell. Infect. Microbiol. 2021. Vol. 11. P. 617002.
12. Fecal microbiota transplantation for recurrent Clostridium difficile infection reduces recurrent urinary tract infection frequency / R. Tariq [et al.] // Clin. Infect. Dis. 2017. Vol. 65, N10. P. 1745–1747.
13. Liver transplant modulates gut microbial dysbiosis and cognitive function in cirrhosis / J.S. Bajaj [et al.] // Liver Transplant. 2017. Vol. 23, N7. P. 907–914.
14. Gut microbiota dysbiosis and diarrhea in kidney transplant recipients / J.R. Lee [et al.] // Am. J. Transplant. 2019. Vol. 19, N2. P. 488–500.
15. Biodiversity screening of gut microbiome during the allogeneic hematopoietic stem cell transplantation: data from the real-life clinical practice / I. Stoma [et al.] // All Life. 2022. Vol. 15, N1. P. 547–554.
16. European consensus conference on faecal microbiota transplantation in clinical practice / G. Cammarota [et al.] // Gut. 2017. Vol. 66, N4. P. 569–580.
17. An orally delivered microbial cocktail for the removal of nitrogenous metabolic waste in animal models of kidney failure / D.W. Zheng [et al.] // Nat. Biomed. Eng. 2020. Vol. 4, N9. P. 853–862.
18. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism / J. Scheiman [et al.] // Nat. Med. 2019. Vol. 25, N7. P. 1104–1109.

Статья поступила в редакцию: 13.07.2022

МИКРОБНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ЖЕЛУДКА

Евгений Воропаев,
проректор по научной работе
Гомельского государственного
медицинского университета,
кандидат медицинских наук, доцент

Алексей Ковалев,
инженер-программист отдела
науки и научно-методической
информации Гомельского
государственного медицинского
университета

Александр Шафорост,
старший научный сотрудник
научно-исследовательской
лаборатории Гомельского
государственного медицинского
университета

Алексей Зятков,
старший научный сотрудник
научно-исследовательской
лаборатории Гомельского
государственного медицинского
университета

Ольга Осипкина,
заведующая научно-
исследовательской лабораторией
Гомельского государственного
медицинского университета

Игорь Стома,
ректор Гомельского
государственного медицинского
университета, доктор медицинских
наук, академик Российской
академии естественных наук

УДК 579.61:616.33

Аннотация. Представлены предварительные результаты оценки микробного разнообразия при различных заболеваниях желудка с использованием метагеномического подхода. Показаны особенности таксономической структуры микробиомов в нормальных тканях и с наличием выраженных патологических процессов.

Ключевые слова: микробиом желудка, метагеномический анализ, ген 16S рРНК, высокопроизводительное секвенирование, биоинформатика.

Для цитирования: Воропаев Е., Ковалев А., Шафорост А., Зятков А., Осипкина О., Стома И.

Микробное разнообразие при различных заболеваниях желудка // Наука и инновации. 2022. №8. С. 23–26.
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-23-26>

В организме человека находится огромное количество микроорганизмов, образующих сложное экологическое сообщество и влияющих на физиологию. Оно описывается как микробиота, а совокупность микроорганизмов, обитающих в различных частях тела человека, определяется как микробиом [1]. Оценить его вклад в развитие различных патологических состояний помогают новые молекулярно-генетические технологии и биоинформатические инструменты [2]. Изменения в видовой структуре микробиома коррелируют с широким спектром заболеваний, включая онкологические [2]. Среди бактерий, характеризующихся выраженным канцерогенным потенциалом, наиболее изучена *Helicobacter pylori* (*H. pylori*), являющаяся этиологическим агентом широкого спектра заболеваний различных отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) [3]. Кроме того, в желудке доминируют роды *Actinomyces*, *Granulicatella*, *Veillonella*, *Fusobacterium*, *Neisseria*,

Helicobacter, *Streptococcus* и *Prevotella*, и их количество значительно различается между *H. pylori*-позитивными и -негативными группами образцов [3]. Таким образом, определение разнообразия микробиома и оценка его роли в развитии патологических состояний желудка, связанных с *H. pylori*, весьма актуальны.

Мы поставили задачу – изучить таксономическое разнообразие микробиоты желудка человека (в белорусской популяции) при различных типах заболеваний с использованием метагеномического подхода. В рамках выполнения НИР «Изучить особенности микробиоты различных биотопов организма человека в норме и при патологических состояниях, оценить ее значение в развитии связанных с ними заболеваний» (№ Государственной регистрации 20220463 от 07.04.2022 ГПНИ «Трансляционная медицина») проводились изыскания на базе научно-исследовательской лаборатории Гомельского государственного медицинского университета с участием 57 пациентов, находившихся на обследовании

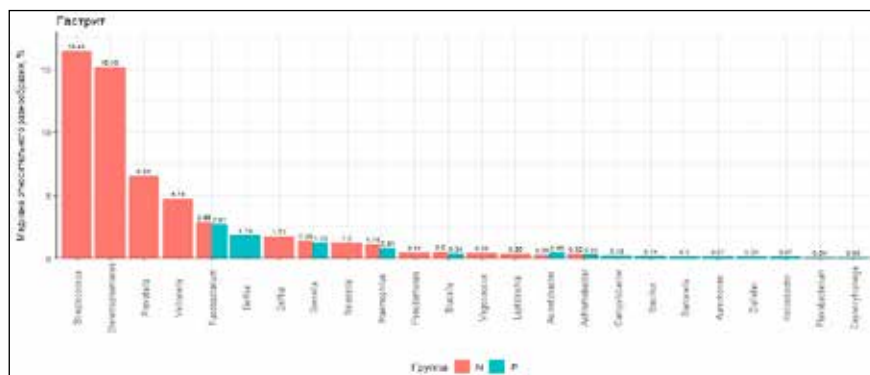


Рис. 1. Наиболее часто встречаемые бактерии в составе микробиома желудка у пациентов с диагнозом «гастрит» на уровне рода в неизменной (N) и патологически измененной (P) тканях желудка

и лечении в Гомельском областном клиническом онкологическом диспансере и Гомельской городской больнице №4 в 2019–2022 гг.

Дизайн исследования предполагал изучение разнообразия бактерий в микробиоме желудка у пациентов с различными заболеваниями согласно международной классификации болезней 10-го пересмотра (МКБ-10): гастрит и дуоденит (K29) (12 пациентов); болезни желудка и двенадцатиперстной кишки (K25-K28), другие болезни желудка и двенадцатиперстной кишки (K31) («язвенная болезнь желудка») (20 пациентов); злокачественное новообразование желудка (C16-C16.9) (25 пациентов) без разбивки по полу и возрасту. Все они дали письменное согласие на участие в исследовании. Для его проведения применяли биопсийный материал желудка, полученный при плановой гастроскопии, а также при выполнении плановых оперативных вмешательств (биоптаты объемом до 5 мм³ из участка с патологически измененными (Р) и не измененными клетками желудка (N))

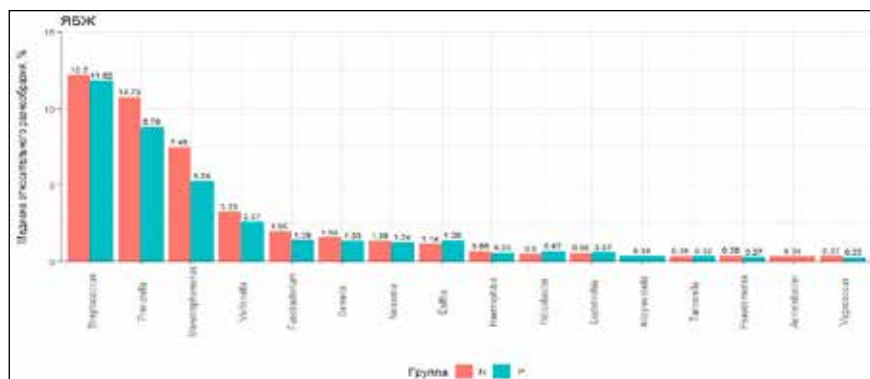


Рис. 2. Наиболее часто встречаемые бактерии в составе микробиома желудка у пациентов с диагнозом «язвенная болезнь желудка» на уровне рода в неизмененной (N) и патологически измененной (P) тканях желудка

для каждого пациента). Высокопроизводительное секвенирование осуществлялось на генетическом анализаторе MiSeq (Illumina, США) с использованием протокола, основанного на анализе переменных регионов гена 16S рРНК. Полученные данные обработаны с помощью программного обеспечения BaseSpace Sequence Hub (Illumina, США), приложение 16S Metagenomics и DRAGEN Metagenomics (алгоритм Kraken2). Удаление последовательностей праймеров производилось на базе сервиса Preprocess

16S (<https://github.com/masikol/preprocess16S>), низ-
кокачественных прочтений – Trimmomatic. Стати-
стические показатели рассчитывали с использо-
ванием среды программирования для статистической
обработки данных R: version 4.1.1[4], пакеты Phyloseq
1.36.0, Ggstatsplot_0.9.1, Tidyverse_1.3.1. Несвязан-
ные группы сопоставлялись при помощи критерия
Краскала-Уоллиса с последующим апостериорным
попарным сравнением в качестве метода контроля
ожидаемой доли ложных отклонений.

При анализе микробиомов для всех групп пациентов устанавливалось общее количество родов микроорганизмов, оценивались медианные значения относительного количества определенного таксона в соответствующей группе на уровне рода как наиболее информативного показателя, используемого при оценке микробиомов.

При анализе микробиомов участников с диагнозом «гастрит» было идентифицировано 1496 родов микроорганизмов, из которых были относительно распространены 15 наиболее высоко представленных таксономических единиц (рис. 1).

При анализе микробиомов пациентов с диагнозом «язвенная болезнь желудка» было определено 1592 рода микроорганизмов, из которых на *рис. 2* показана относительная распространенность 15 наиболее представленных.

У пациентов с диагнозом «рак желудка» был определен 1651 род микроорганизмов, из которых на *рис. 3* представлены 15 наиболее распространенных.

Как видно из медианных значений относительного количества определенного таксона в соответствующей группе, наиболее часто (во всех 6 анализируемых микробиомах) встречаются роды *Fusobacterium* (0,29–2,89%), *Delftia* (1,14–2,64%), *Gemella* (0,23–1,56%). Род *Fusobacterium* представлен анаэробными бактериями, входящими в состав нормального микробиома верхних дыхательных путей, ЖКТ и половых путей. Они довольно редко вызывают бактериемию (0,55 случаев / 100 тыс. населения) [5].

F. nucleatum является доминирующим видом в сообществе бактерий зубного налета. Грамотрицательные бактерии рода *Delftia* обитают в почве и воде и крайне редко становятся причиной развития заболеваний у человека [6]. В литературе описаны отдельные случаи пневмонии, вызванные *Delftia acidovorans* и *D. tsuruhatensis* у пациентов с ослабленным иммунитетом [6]. Грамположительные и грамотрицательные бактерии рода *Gemella* обитают в слизистых оболочках ротовой полости и верхних отделах ЖКТ. *Gemella morbillorum* редко встречается у человека, однако способна вызывать такие воспалительные заболевания, как менингит, эндокардит, нефрит и абсцесс печени [7]. Среди бактериальных родов, встречающихся в 5 из 6 микробиомах, доминируют *Acinetobacter* (0,13–0,45%), *Prevotella* (0,57–10,73%), *Pseudomonas* (0,27–0,75%), *Streptococcus* (1,97–16,45%), *Stenotrophomonas* (5,24–19,41%) и *Veillonella* (0,2–4,74%). Представители рода *Acinetobacter* довольно широко распространены и у человека чаще всего встречаются на коже и в кишечнике. Они представляют большой интерес как возбудители внутрибольничных инфекций (*A. baumannii*) с множественной лекарственной устойчивостью [8]. Также показано, что на фоне пребывания в учреждениях здравоохранения может развиваться хронический гастрит в результате размножения *A. lwoffii* и *H. pylori* [8]. Бактерии рода *Prevotella* – это более 50 видов, которые выделены из ротовой полости, кишечника, половых и дыхательных путей. *P. intermedia*, *P. bivia*, *P. nigrescens* и *P. melaninogenica* наиболее часто становятся причиной развития инфекционных процессов ротовой полости, бактериального вагиноза (*P. bivia* совместно с *Gardnerella vaginalis*), инфекций кишечника (*Prevotella intestinalis* и *Prevotella rodentium*) и воспалительных процессов иной

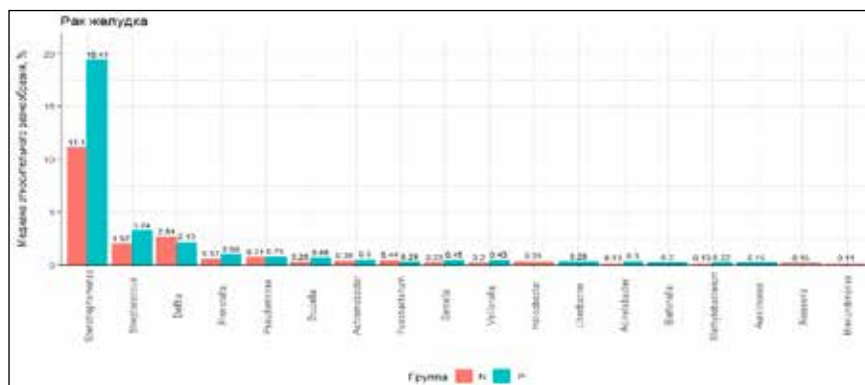


Рис. 3. Наиболее часто встречаемые бактерии в составе микробиома желудка у пациентов с диагнозом «рак желудка» на уровне рода в неизмененной (N) и патологически измененной (P) тканях желудка

локализации [9]. *Pseudomonas spp.* выделяются из почвы, воды и растительности, а также обнаруживаются в образцах кожи, горла и стула здоровых людей и выступают возбудителями оппортунистических инфекций (80% *Pseudomonas aeruginosa* и *P. maltophilia*) [10]. Род *Streptococcus* объединяет более 50 видов бактерий, являющихся частью нормальной микрофлоры различных отделов пищеварительного тракта, дыхательных и мочеполовых путей. Стрептококки группы А вызывают фарингит, скарлатину, инфекции кожи и мягких тканей и синдром стрептококкового токсического шока [11]. Среди бактерий рода *Stenotrophomonas* выделяется обладающий множественной лекарственной устойчивостью *S. Maltophilia*, из-за которого часто развиваются внутрибольничные инфекции и могут появляться злокачественные образования. Представители рода *Veillonella* входят в состав нормальной микрофлоры различных отделов ЖКТ. При доминировании *H. pylori* наблюдается снижение доли *Veillonella spp.* в составе микробиома желудка [12].

Род *Helicobacter* (0,07–0,67%), как и *Brucella* (0,28–0,66%), *Neisseria* (0,15–1,36%), *Haemophilus* (0,55–1,14%) встречается в четырех микробиомах, остальные таксоны отмечаются реже. Согласно литературным и полученным экспериментальным данным, *H. pylori* является причиной гастрита, язвы 12-перстной кишки и фактором, повышающим риск развития злокачественных образований желудка [12]. Род *Brucella* объединяет виды, которые выступают возбудителями бруцеллеза у многих млекопитающих, включая человека. Описаны случаи гастроэнтерита, вызванные бактериями *Brucella* [13]. Наиболее известны 2 вида бактерий рода *Neisseria*: *N. gonorrhoeae* и *N. Meningitidis* – возбудители гонореи и менингита соответственно, но большая часть представителей

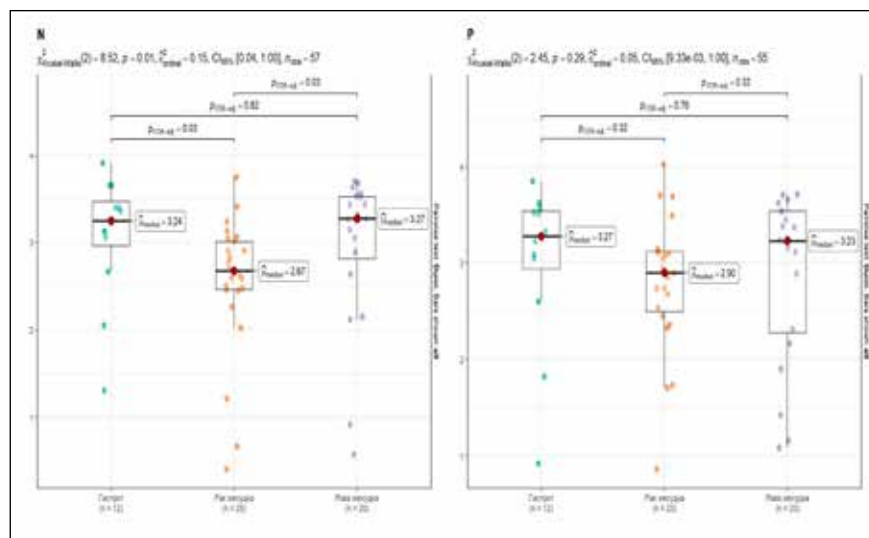


Рис. 4. Альфа-разнообразие микробиомов

этого рода в норме колонизируют различные слизистые оболочки [14]. Бактерии рода *Haemophilus* входят в состав нормальной микрофлоры верхних дыхательных путей, при этом один из доминирующих видов – *H. influenzae*. В литературе описаны случаи бактериального гастроэнтерита, вызванного *H. parainfluenzae* [15].

Далее был проведен анализ альфа-разнообразия с использованием индекса Шеннона по здоровым и патологически измененным тканям желудка (рис. 4).

Как видно из данных, представленных на рис. 4, значимые отличия выявлены при сравнении микробиоты, полученной из неизмененных (N) тканей желудка пациентов с диагнозами «гастрит» и «рак желудка» ($pFDR\text{-}adj = 0,03$) и диагнозами «рак желудка» и «язва желудка» ($pFDR\text{-}adj = 0,03$), при сравнении микробиоты, полученной из патологически измененных (P) тканей желудка, значимых отличий установлено не было.

На основании метагенетического подхода проведена оценка микробного разнообразия при различных заболеваниях желудка. Установленные отличия в микробиоте неизмененных и патологически измененных его тканях позволяют оценить разнообразие микроорганизмов при патологиях, что способствует разработке новых стратегий медицинской профилактики, диагностики и лечения указанных заболеваний. ■

■ **Summary.** The article presents the preliminary results of the evaluation of microbial diversity in various gastric diseases using metagenetic approach. The features of the taxonomic structure of microbiomes in normal tissues and with the presence of marked pathological processes are shown.

■ **Keywords:** gastric microbiome, metagenetic analysis, 16S rRNA gene, next generation sequencing, bioinformatics.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-23-26>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. L. Proctor. Priorities for the next 10 years of human microbiome research // *Nature*. 2019. Vol. 569. P. 623–625. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01654-0>.
2. Стома И.О. Микробиом в медицине: рук-во для врачей / И.О. Стома. – М., 2020.
3. The Human Gastric Microbiome Is Predicated upon Infection with *Helicobacter pylori* / I. Klymiuk [et al.] // *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 8:2508. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02508>
4. P.J. McMurdie. Phyloseq: An R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data / P.J. McMurdie, S. Holmes // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, №4: e61217. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061217>.
5. Incidence, risk factors, and outcomes of *Fusobacterium* species bacteremia / K. Afra [et al.] // *BMC Infectious Diseases*. 2013. Vol. 13, №1:264. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-13-264>.
6. Delftia tsuruhatensis, an Emergent Opportunistic Healthcare-Associated Pathogen / A. Ranc [et al.] // *Emerg. Infect. Dis.* 2018. Vol. 24, №3. P. 594–596. <https://doi.org/10.3201/eid2403.160939>.
7. Borro P. Pyogenic liver abscess caused by *Gemella morbillorum* / P. Borro, A. Sumberaz, G. Testino // *Colomb Med (Cali)*. 2014. Vol. 45, №2. P. 81–84.
8. Biology of *Acinetobacter baumannii*: Pathogenesis, Antibiotic Resistance Mechanisms, and Prospective Treatment Options / C.-R. Lee [et al.] // *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2017. Vol. 7:55. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00055>.
9. Prevotella diversity, niches and interactions with the human host / A. Tett [et al.] // *Nat. Rev. Microbiol.* 2021. Vol. 19, №9. P. 585–599. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00559-y>.
10. Iglewski B.H. *Pseudomonas* / B.H. Iglewski // *Medical Microbiology*. – 4th ed. – Galveston: University of Texas Medical Branch at Galveston, 1996. Chapter 27 // <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8326/>.
11. Significance of group A streptococcal infections in human pathology / D. Cvjetković [et al.] // *Med. Pregl.* 2008. Vol. 61, №9–10. P. 529–532.
12. L. Engstrand. The Microbiome and Gastric Cancer / L. Engstrand, D.Y. Graham // *Dig. Dis. Sci.* 2020. Vol. 65, №3. P. 865–873. <https://doi.org/10.1007/s10620-020-06101-z>.
13. Pathogenesis and Immunobiology of Brucellosis / P. de Figueiredo [et al.] // *Am.J. Pathol.* 2015. Vol. 185, №6. P. 1505–1517. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2015.03.003>.
14. M. V. Humbert. Atypical, Yet Not Infrequent, Infections with *Neisseria* Species / M.V. Humbert, M. Christodoulides // *Pathogens*. 2019. Vol. 9, №1:10. <https://doi.org/10.3390/pathogens9010010>.
15. M. Olivart. Acute gastroenteritis and *Haemophilus parainfluenzae*: An unreported but predictable association / M. Olivart, E. Galera, M. Falguera // *Gastroenterol. Hepatol.* 2017. Vol. 40, №1. P. 23–24. <https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2015.10.010>.

Статья поступила в редакцию: 06.07.2022

Центр изучения микробиома: фундаментальные и прикладные исследования



Елена Михаленко,
ведущий научный сотрудник
лаборатории экологической
генетики и биотехнологии
Института генетики и
цитологии НАН Беларуси,
кандидат биологических наук



Елена Гузенко,
заместитель директора по
научной и инновационной
работе Института генетики
и цитологии НАН Беларуси,
кандидат биологических наук



Александр Кильчевский,
главный научный сотрудник
лаборатории экологической
генетики и биотехнологии
Института генетики и
цитологии НАН Беларуси,
академик



XXI век является веком биологии. По сути дела сбывается предсказание великого физика Нильса Бора, который в 50-х гг. прошлого столетия неоднократно заявлял, что в ближайшем будущем наиболее интенсивное проникновение в тайны природы станет прерогативой не физики, а именно биологии. Наиболее продуктивной в этом отношении оказалась молекулярная генетика, что стало возможным благодаря новым методологическим подходам и технологиям.

Именно развитие технологий секвенирования 16S рибосомальной РНК, а также полногеномного секвенирования позволило успешно реализовать

несколько проектов по изучению микробиома человека (Human Microbiome Project и Metagenomics of Human Intestinal Tract) [1]. Получена обширная по своим масштабам и значению информация о составе и метаболической активности микробиоты различных сред организма. Признано, что микробное сообщество является фундаментальным фактором, определяющим физиологическое состояние организма-хозяина [2, 3]. Например, микробиота кишечника представляет собой сложную экосистему, которая выполняет множество важных функций в организме, таких как пищеварение, иммунитет,

производство витаминов и других важных метаболитов, а также воздействует на высшие нервные функции [4, 5]. Однако это влияние не одностороннее: микробиом не просто определяет некоторые характеристики организма-хозяина, но также зависит от ряда факторов [3], воздействие которых эмпирически можно разделить на три категории (рис. 1): внутренние факторы хозяина (генетика, пол, возраст); внешние факторы хозяина (физическая активность, диета, привычки); факторы окружающей среды.

Именно идентификация механизмов взаимодействия генома хозяина и микробиома, а также

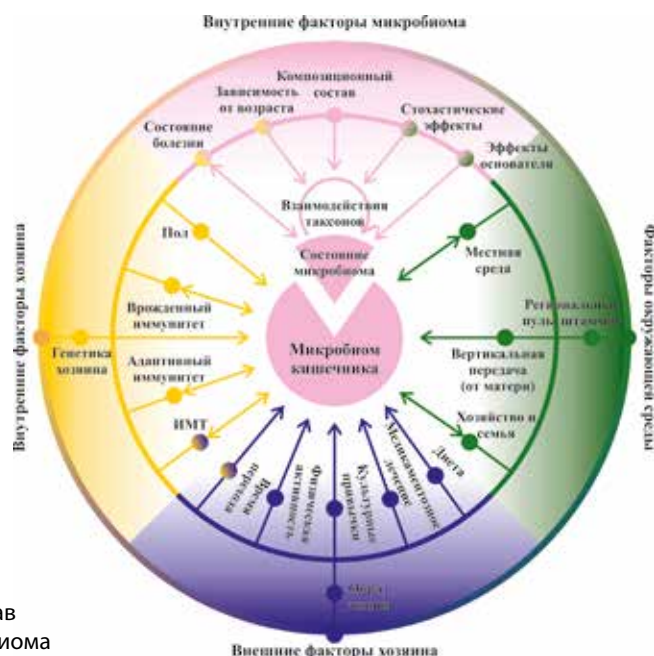


Рис. 1. Факторы, влияющие на состав и функции микробиома
Источник: адаптировано из [3]

использование этих знаний для решения задач фундаментальной биологии и практической медицины – основная цель работ Республиканского центра изучения микробиома, созданного на базе Института генетики и цитологии НАН Беларуси по поручению Председателя Президиума НАН Беларуси В.Г. Гусакова (открытие состоялось 7 декабря 2021 г.).

Основными направлениями фундаментальных и прикладных исследований Республиканского центра изучения микробиома являются:

- изучение особенностей микробиома у долгожителей и его влияния на реализацию отдельных молекулярно-генетических характеристик генома человека;
- изучение микробиома человека в норме и при патологии, его роли в поддержании здоровья и в патогенезе заболеваний;
- разработка метагеномных технологий определения микробиома человека и почвы для решения задач судебной экспертизы;

- исследование микробиома почвы для решения задач сельского хозяйства;
- анализ микробиоты желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных, ее корреляции с показателями здоровья и продуктивности, рационом кормления.

Реализация данных направлений будет осуществляться совместно с другими заинтересованными учреждениями Национальной академии наук Беларуси, Министерства здравоохранения, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Министерства образования и др.

Изучение особенностей генома и микробиома у долгожителей Беларуси

Несмотря на большое количество теорий, пытающихся объяснить процессы старения, полностью понять его механизмы до сих пор не удалось. Наибольшую популярность имеют инте-

гративные теории, описывающие этот феномен как многофакторное явление, включающее в себя сложные взаимодействия на молекулярном и клеточном уровнях [6]. В этой связи уже сейчас понятно, что в поиске биомаркеров возрастных изменений не удастся выделить какой-то один простой показатель, позволяющий оценивать происходящие изменения, а для определения биологического возраста разумнее рассматривать комплекс различных характеристик организма, включая особенности генома и микробиома человека [7].

Основным постулатом при изучении вклада генетических особенностей человека и его микробиома в процессы старения является предположение, что сходный фенотипический эффект может быть достигнут как за счет собственных генетических особенностей, так и за счет функционирования генетической системы, составляющей микробиом [8].

Сотрудники Центра совместно с коллегами из БелМАПО участвуют в выполнении проекта НАН Беларуси «Роль микробиома в реализации особенностей генома долгожителей Беларуси». В ходе работы обследованы добровольцы старших возрастных групп (в возрасте 60–89 лет) и долгожителей (старше 90 лет), изучены их клинично-фенотипические показатели с оценкой антропометрических (рост, масса тела и ее индекс), клинично-функциональных данных, а также анализа некоторых средовых факторов (место проживания, состав семьи, наследственность, хобби, вредные привычки, социальное взаимодействие). Изучение микробиома кишечника у добровольцев проводили с использованием технологии высокопроизводительного секвенирования компании Illumina.

Выявлено, что наиболее стабильный компонент в исследованных образцах микробиома составляли представители семейств *Ruminococcaceae*, *Verrucomicrobiaceae*, *Bacteroidaceae* и *Lachnospiraceae* (рис. 2). С увеличением возраста уменьшается количество бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, а также наблюдается тенденция к сокращению количества бактерий семейства *Erysipelotrichaceae*. При иерархической кластеризации образцов микробиома добровольцев выделяется кластер, в котором доминировали виды бактерий рода *Akkermansia* (от 5,89 до 52,86%).

Изучение микробиома человека при патологических состояниях и различных заболеваниях

Кроме фундаментальных исследований в практической медицине все более широко применяется метагеномный ана-

лиз [8]. До последнего времени изучение состава и функциональной активности микробиоты человека было крайне ограничено в связи с невозможностью культивирования подавляющего большинства микроорганизмов на питательных средах. Эту проблему позволяют решить современные методы диагностики, при этом в клинической практике все активнее используется метагеномный анализ по технологии высокопроизводительного секвенирования (табл. 1).

В Республиканском центре изучения микробиома проводятся работы по идентификации патогенных и условно патогенных микроорганизмов у детей с недифференцированными колитами и хроническими воспалительными заболеваниями кишечника (ХВЗК). Ежегодные затраты на их диагностику и лечение – существенное бремя для экономической и социальной сферы. Принимая во внимание прогрессирующую распространенность ХВЗК, сложности ранней диагностики, отсутствие этиотропного лечения, значительные материальные затраты на него, данные заболе-

вания – серьезная проблема для детского здравоохранения [8, 12].

Клинические проявления патологии варьируют от легких форм до среднетяжелых и тяжелых. Известно, что течение недуга, ответ на терапию часто зависят от возраста пациента и своевременности постановки диагноза. Имеют место и другие факторы, один из которых – одновременное заражение ребенка микроорганизмами (кишечная инфекция). Сочетание ХВЗК с другими бактериальными и вирусными кишечными инфекциями может существенно менять клиническую картину, свойственную каждой из них в отдельности, что затрудняет диагностику и выбор лечения [12]. На сегодня обследовано шесть пациентов детского возраста с диагнозом «Неинфекционный гастроэнтерит и колит неуточненный. Риск развития ХВЗК». С помощью секвенирования 16S rРНК биопсийного материала толстого кишечника у трех из них выявлен анаэробный вид *Bacteroides fragilis*, у одного удалось идентифицировать штамм *Escherichia marmotae*, представляющий собой относительно

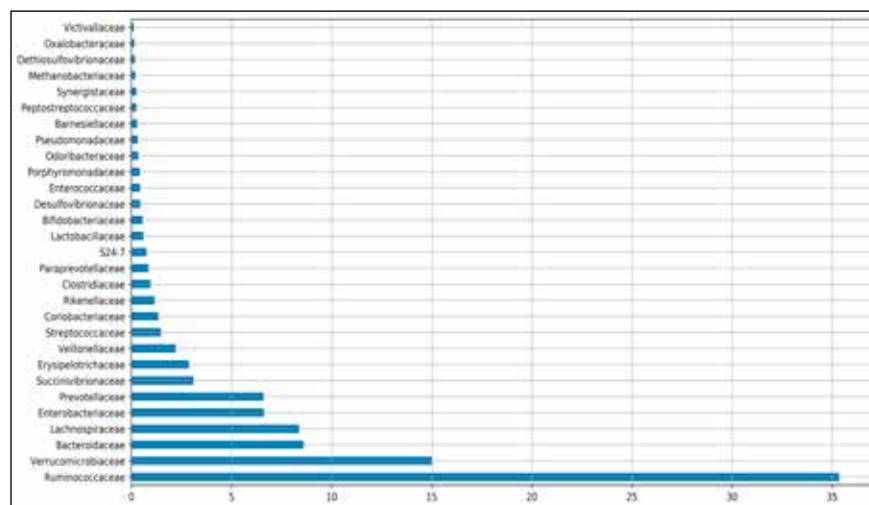


Рис. 2. Процентное содержание прочтений бактерий различных семейств в образцах людей пожилого возраста и долгожителей

недавно описанный патоген, фенотипически неотличимый от *E. coli*, который смогли выделить только с появлением новых метагеномных технологий [13]. Эти результаты позволили правильно скорректировать схему лечения.

Метагеномное секвенирование ДНК из биопсийного материала толстой кишки позволяет определить совокупность микробиома сообщества, которое невозможно выявить классическими методами, используемыми в медицине. Полученные данные о распространенности кишечных патогенов у детей с недифференцированными колитами, их этиологической значимости, клиническом течении позволят разработать метод дифференциальной диагностики инфекционной патологии толстой кишки у пациентов детского возраста.

Эти исследования проводятся совместно с сотрудниками кафедры детских инфекционных заболеваний Белорусского государственного медицинского университета в рамках выполнения

задания «Разработать и внедрить метод дифференциальной диагностики инфекционной патологии толстой кишки у пациентов детского возраста с недифференцированными колитами» (2022–2024 гг.) подпрограммы «Инновационные биотехнологии» (задача 5) ГП «Наукоемкие технологии и техника» на 2021–2025 гг.

Метагеномные исследования микробиома кишечника медоносной пчелы

Медоносная пчела *Apis mellifera* – вид общественных насекомых с уникальным комплексом приспособлений к неблагоприятным условиям внешней среды. Характеристики их колонии – результат симбиотической связи посредством химических сигналов организма насекомого с микробиомным сообществом его кишечника, который считается дополнительным органом, состоящим из небольшого анаэробного

сообщества грамотрицательных (роды *Apibacter*, *Bartonella*, *Commensalibacter*, *Gilliamella*, *Parasaccharibacter*, *Saccharibacter*, *Serratia*, *Snodgrassella*, *Frischella*) и грамположительных (роды *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) видов бактерий. Они прошли длительную коэволюцию с пчелами и накопили уникальные гены, обеспечивающие иммунитет, адаптацию и детоксикацию ксенобиотиков и пестицидов [14]. Микробиом кишечника медоносных пчел способствует ускорению роста, увеличению массы тела и продолжительности жизни особей, лучшему усвоению ими пищи. Микроорганизмы синтезируют биологически активные вещества, участвуют в метаболизме некоторых соединений, способствуя усвоению питательных веществ. Все это свидетельствует о том, что геном медоносной пчелы и метагеном кишечного микробиома объединены в единый, функционально связанный сложный геном. Метагеномный анализ кишечного микробиома

Метод	Бактериологический метод	Метод ПЦР	Секвенирование по Сэнгеру	Метод метагеномного анализа
Длительность выполнения методики	1 образец Время 3–6 дней	24 образца Время – 2,5 часа	8 образцов Время – 3,5 дня	384 образца Время – 2 дня
Количество детектируемых микроорганизмов	можно идентифицировать лишь ограниченную долю существующих кишечных микробов ПКФ (около 5) Селективные среды (1)	один вид	секвенировании одного геномного участка микроорганизма	несколько сотен видов в каждом исследуемом образце (метагеномный анализ всего бактериального микробиома)
Условия выполнения метода	наличие среды для культивирования	наличие праймеров для детекции микроорганизмов. Одна ПЦР – только один микроорганизм	наличие праймеров для детекции микроорганизмов. Одна ПЦР – только один микроорганизм	наличие специального набора реагентов
Культивирование	да	нет	нет	нет
Количество микроорганизмов в образце для детекции	значимо	минимальное	минимальное	минимальное
Анаэробные бактерии	не детектирует	детектирует	детектирует	детектирует

Таблица 1. Сравнительный анализ методов исследования микроорганизмов

медоносных пчел, обитающих в Беларуси, будет проведен в рамках проекта «Изучение микробиоценоза желудочно-кишечного тракта медоносной пчелы *Apis mellifera mellifera* с целью повышения естественного иммунитета и продуктивности», который подан для формирования научной программы кластера по пчеловодству.

Метагеномные технологии определения микробиома для решения задач судебной экспертизы

В настоящее время формируется новая научно-техническая программа Союзного государства «Разработка инновационных технологий генетической идентификации криминалистически значимых биологических объектов для повышения эффективности раскрытия преступлений» («ДНК-идентификация-2»). Одно из ее мероприятий – «Разработка метагеномной технологии определения микробиомов человека и почвы для решения задач судебной экспертизы». Поставлена задача – получить эффективную и конкурентоспособную технологию анализа метагеномных данных микробиома человека для определения принадлежности биологического материала конкретному индивиду. Предполагается, что генетические маркеры микробиома кожи и слизистых, а также кишечника предоставляют дополнительную генетическую информацию, которую можно использовать независимо или в сочетании с генетическими маркерами человека для идентификации индивида. Наличие индивидуальных сигнатур микробиома позволяет приме-

нять технологии профилирования микробиома для решения судебно-криминалистических задач [11, 15]. В результате будет создана референсная база данных выявленных микробиомных маркеров, на которых основывается разработка методического руководства для определения принадлежности биологического материала конкретному лицу.

Современные достижения биологии и физики позволяют получать информацию для идентификации места преступления. Для решения этой задачи будут проводиться научные исследования по выявлению качественного и количественного состава почвенного микробиома различных экосистем, а также определению гранулометрического состава почв и почвогрунтов. Планиру-

ется создать технологию в виде прикладной компьютерной программы, содержащей базы метаданных микробиома почв из различных географических регионов и экосистем, а также картографических схем с указанием на них территорий наиболее и наименее вероятного происхождения представленного образца микробиома почвы для повышения эффективности проведения розыскных действий.

Таким образом, Республиканский центр изучения микробиома Института генетики и цитологии НАН Беларуси, являясь многопрофильным учреждением, совместно с заинтересованными организациями Национальной академии наук успешно решает фундаментальные и прикладные задачи различных отраслей. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Strains, functions and dynamics in the expanded Human Microbiome Project / J. Lloyd-Price [et.al.] // Nature. 2017. Vol. 550(7674). P. 61–66. doi: 10.1038/nature23889.
2. Metabolic reconstruction for metagenomic data and its application to the human microbiome / S. Abubucker [et.al.] // PLoS Comput Biol. 2012; 8: e1002358.
3. Schmidt TS, Raes J, Bork P. The human gut microbiome: from association to modulation // Cell. 2018. Vol. 72 (6). P. 1198–1215. doi:10.1016/j.cell.2018.02.044.
4. Gomaa E.Z. Human gut microbiota/microbiome in health and diseases: a review // Antonie Van Leeuwenhoek. 2020. Vol. 113(12). P. 2019–2040. doi: 10.1007/s10482–020–01474–7.
5. Adak A., Khan M.R. An insight into gut microbiota and its functionalities / A. Adak, M.R. Khan // Cell Mol Life Sci. 2019. Vol. 76(3). P. 473–493. doi: 10.1007/s00018–018–2943–4.
6. Weiner B.T., Timiras P.S. Invited review: Theories of aging / B.T. Weiner, P.S. Timiras // J. Appl. Physiol. 2003. Vol. 95. P. 1706–1716.
7. Elon R.D. Perspectives on the future of geriatric medicine / R.D. Elon // J. Am. Med. Dir. Assoc. 2006. Vol. 7 (3). P. 197–200.
8. The Integrative Human Microbiome Project: dynamic analysis of microbiome-host omics profiles during periods of human health and disease/ Integrative HMP (iHMP) Research Network Consortium // Cell Host Microbe. 2014. Vol. 16(3). P. 276–89. doi: 10.1016/j.chom.2014.08.014.
9. Y. Naito, K. Uchiyama, T. Takagi. A next-generation beneficial microbe: *Akkermansia muciniphila* / Y. Naito, K. Uchiyama, T. Takagi // J. Clin. Biochem. Nutr. 2018. Vol. 63. P. 33–35. doi.org/10.3164/jcbn.18–57.
10. Gut microbiota and extreme longevity / E. Biagi [et.al.] // Curr. Biol. 2016. Vol. 26. P. 1480–1485.
11. Human Gut Microbiome Aging Clock Based on Taxonomic Profiling and Deep Learning / F. Galkin [et.al.] // iScience. 2020. Vol. 23(6):101199. doi: 10.1016/j.isci.2020.101199.
12. The intestinal microbiome, barrier function, and immune system in inflammatory bowel disease: A tripartite pathophysiological circuit with implications for new therapeutic directions / S.M. Vindigni [et.al.] // Therapeuti Advances in Gastroenterology. 2016. Vol. 9. P. 606–625.
13. The population genetics of pathogenic *Escherichia coli* / Denamur E. [et.al.] // Nat Rev Microbiol. 2021;19(1):37–54. doi: 10.1038/s41579–020–0416–x.
14. Review of the expression of antimicrobial peptide defensin in honey bees *Apis mellifera* L. R.A. Ilyasov [et.al.] // Journal of Apicultural Science. 2012. Vol. 56(1). P. 115–124. doi: 10.2478/v10289–012–0013–y.
15. Human gut microbiome aging clocks based on taxonomic and functional signatures through multi-view learning / Y. Chen [et.al.] // Gut Microbes. 2022. Vol. 14(1):2025016. doi: 10.1080/19490976.2021.2025016.



Кишечный микробиом как индикатор патологических процессов в организме человека

Анастасия Сидоренко,
завлабораторией «Коллекция микроорганизмов»
Института микробиологии НАН Беларуси,
кандидат биологических наук, доцент

Екатерина Охремчук,
научный сотрудник лаборатории «Центр
аналитических и гено-инженерных
исследований» Института микробиологии
НАН Беларуси, магистр

Леонид Валентович,
завлабораторией «Центр аналитических
и гено-инженерных исследований»
Института микробиологии НАН Беларуси,
кандидат биологических наук, доцент

Екатерина Скопонец,
младший научный сотрудник лаборатории
молекулярно-генетических исследований РНПЦ
детской онкологии, гематологии и иммунологии,
магистр

Наталья Кирсанова,
врач-гематолог отделения трансплантации РНПЦ
детской онкологии, гематологии и иммунологии,
кандидат медицинских наук

В последние десятилетия исследование микробиоты кишечника человека стало одним из приоритетных направлений биологии и медицины. Человек начал рассматриваться как «суперорганизм», в котором микробная составляющая преобладает над человеческой, а микробиота – как особый «экстракорпоральный орган», выполняющий широкий спектр жизненно важных локальных и системных функций. Оставаясь невидимым, этот «орган» весит около 2–3 кг и насчитывает порядка 10^{14} клеток микроорганизмов, что примерно равно количеству собственных клеток в организме человека. Количество микробных генов в 150–360 раз превышает количество генов человеческого генома [1].

Таксономический состав микробиоты крайне разнообразен. В организме человека обитает более 10 тыс. видов микроорганизмов, включая бактерии, археи, грибы и простейшие. Только в кишечнике обнаруживается свыше 500 видов бак-

терий, среди которых доминируют *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Actinobacteria* и *Proteobacteria*, составляющие около 95% бактериального компонента микробиоты. Отдел *Firmicutes* включает более 200 родов бактерий, среди которых численно преобладают *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Enterococcus* и *Ruminococcus*. Доминирующими представителями отдела *Bacteroidetes* являются роды *Bacteroides* и *Prevotella*, отдела *Actinobacteria* – род *Bifidobacterium* [2]. Археи представлены преимущественно продуцентами метана (метаногенные археи), относящимися к порядкам *Methanobacteriales* и *Methanomassiliicoccales* (включает семейство *Methanomethylophilaceae*) [3]. Не менее важные, хотя пока еще слабо изученные «обитатели» кишечника – вирусы. Виром, на долю которого приходится около 5% суммарного кишечного метагенома, включает вирусы бактерий, архей, грибов, простейших, человека, а также поступающие с пищей [4].

В зависимости от локализации микроорганизмов – в просвете кишечника или пристеночной слизи – выделяют полостную и пристеночную (мукозную) микробиоту. Эти микробные популяции различаются между собой (например, бактерии рода *Bacteroides* содержатся преимущественно в просвете кишечника, а кластер *Clostridium XIVa* – в пристеночном слое слизи), однако тесно взаимосвязаны: между ними происходит постоянный обмен микроорганизмами, в результате чего формируется индивидуальный вариант микробиоты. Имеются сведения, что бактерии, присутствующие в слизи, по-разному пролиферируют и используют ресурсы по сравнению с теми же видами, обитающими в просвете кишечника [5].

Микробиота играет важную роль в поддержании здоровья человека: обеспечивает колонизационную резистентность кишечника; участвует в расщеплении компонентов пищи, не перевариваемых организмом хозяина (например, сложных углеводов); продуцирует биологически активные соединения (витамины, гормоны, короткоцепочечные жирные кислоты и др.); оказывает иммуномодулирующее действие [6]. В процессе длительной коэволюции человека и микроорганизмов сформировались механизмы поддержания качественного и количественного состава микробиоты на уровне, наиболее благоприятном для совместного существования. Если равновесие «хозяин – микробиота» по каким-либо причинам нарушается, могут развиваться патологические состояния как в пищеваритель-

ном тракте (язвенный колит, кишечные инфекции и др.), так и в иных системах организма (ожирение, аллергии, иммунные расстройства) [7].

Один из ключевых факторов возникновения воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК) – снижение количества облигатно анаэробных бактерий *Faecalibacterium prausnitzii* [8]. Они продуцируют бутират, который играет важную роль в обеспечении колоноцитов энергией, поддержании барьерной функции кишечного эпителия, подавлении синтеза провоспалительных цитокинов. У пациентов с ВЗК существенно снижается количество представителей отдела *Firmicutes*, в первую очередь родов *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Lachnospira*, *Roseburia*, *Eubacterium*, *Coprococcus*, *Dorea*, *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Anaerofilum*, объединенных в кластеры *Clostridium XIVa* и *IV*. При этом происходит увеличение численности потенциально патогенных бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, включающего роды *Escherichia*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Salmonella*, а также *Ruminococcus torques*, *Ruminococcus gnavus* и *Bacteroides fragilis*. Отмечается более высокий уровень сульфатредуцирующих бактерий, таких как *Bilophila wadsworthia*, которые выделяют сероводород, разрушающий эпителиальную ткань кишечника, что способствует размножению в поврежденной ткани патогенных микроорганизмов и развитию воспаления [9].

Обнаружены существенные отличия кишечной микробиоты здоровых людей и пациентов с сахарным диабетом 2-го типа (СД 2). У последних выявлено

снижение *Bacteroidetes* и увеличение количества бактерий рода *Lactobacillus*, относящихся к отделу *Firmicutes*. Однако соотношение *Bacteroidetes* / *Firmicutes*, ранее предложенное в качестве маркера метаболических заболеваний, не показало достоверной связи с развитием СД 2. В то же время диабет ассоциировался с уменьшением численности бутират-продуцирующих бактерий *Roseburia* и *F. prausnitzii*, комменсальных бактерий *Bifidobacterium*, *Bacteroides* и *Akkermansia* и повышением уровня *Ruminococcus*, *Fusobacterium* и *Blautia*. Выделяют несколько механизмов, связывающих кишечную микробиоту с развитием диабета. Среди них: более эффективное извлечение энергии из пищи и модуляция энергетического обмена в организме; нарушение метаболизма жирных кислот в жировой ткани и печени; модуляция секреции гастроинтестинальных пептидных гормонов; нарушение проницаемости кишечного эпителия и повышение уровня циркулирующих в крови липополисахаридов (ЛПС, компонентов клеточной стенки грамотрицательных бактерий), индуцирующее хроническое неспецифическое воспаление [10].

Неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) часто сопутствует сахарному диабету 2-го типа. Данное заболевание сопровождается увеличением численности бактерий отдела *Proteobacteria*, семейства *Enterobacteriaceae*, родов *Collinsella*, *Escherichia*, *Dorea* и уменьшением количества *Coprococcus*, *Eubacterium*, *Faecalibacterium* и *Prevotella*. На функциональном уровне

отмечается повышение активности бактерий, участвующих в деконъюгации желчных кислот (например, *Lactobacillales*, *Collinsella*) при снижении активности трансформации первичных желчных кислот во вторичные, осуществляемой представителями семейств *Lachnospiraceae* и *Ruminococcaceae*. Нарушение метаболизма желчных кислот способствует развитию воспаления, инсулинорезистентности и накоплению жиров в клетках печени. Еще одним фактором, приводящим к системному воспалению и повреждению гепатоцитов, является высокая концентрация бактериальных ЛПС, циркулирующих в крови пациентов с НАЖБП [11].

У лиц с хронической болезнью почек (ХБП) детектировалось достоверное снижение микробного разнообразия, уменьшение численности *Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillaceae*, *Bacteroidaceae*, *Akkermansia*, *Prevotellaceae* при увеличении количества *Enterobacteriaceae* (в частности родов *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Escherichia*), *Enterococcus* и *Clostridium perfringens*. Снижение представленности *Akkermansia muciniphilla* отрицательно коррелировало с содержанием в крови провоспалительного интерлейкина-10 (IL-10), развитием хронического системного воспаления и ХБП. Отмечалось изменение метаболической активности микробиоты в сторону увеличения количества протеолитических бактерий, способных метаболизировать аминокислоты (фенилаланин, тирозин и триптофан) с образованием предшественников уремических токсинов, которые индуцируют воспали-

ние и усиливают окислительный стресс, провоцируя гломерулярный склероз и интерстициальный фиброз, усугубляя дисфункцию почек [11].

Изменения в таксономическом составе и метаболической активности кишечной микробиоты рассматриваются как фактор риска заболеваний сердечно-сосудистой системы. Так, у лиц с артериальной гипертензией отмечено снижение численности бактерий отдела *Firmicutes*, рода *Lactobacillus*. Развитие атеросклероза связано с микробным метаболизмом фосфатидилхолина, холина и *L*-карнитина, присутствующих в молочных и мясных продуктах, с образованием триметиламина. Данное соединение в печени превращается в триметиламин-*N*-оксид (ТМАО), проатерогенный эффект которого обусловлен неблагоприятным воздействием на транспорт холестерина, активацией провоспалительных реакций в гладкомышечных клетках и клетках эндотелия сосудов, а также усилением агрегации тромбоцитов. Наблюдалась позитивная корреляция концентрации ТМАО в крови с повышением численности бактерий отделов *Firmicutes* и *Proteobacteria*, видов *Anaerococcus hydrogenalis*, *Enterocloster asparagiformis*, *Hungatella hathewayi*, *Clostridium sporogenes*, *Escherichia fergusonii*, *Proteus penneri*, *Providencia rettgeri*, *Edwardsiella tarda*, расщепляющих холин, а также представителей отделов *Proteobacteria*, *Bacteroides* и семейства *Prevotellaceae*, трансформирующих *L*-карнитин. В свою очередь синтезируемые микробиотой короткоцепочечные жирные кислоты

(ацетат, пропионат, бутират) и некоторые продукты метаболизма ароматических аминокислот (например, индолэтанол, индолпропионовая кислота) обладают противовоспалительным действием и, наоборот, препятствуют развитию атеросклероза и других сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, короткоцепочечные жирные кислоты микробного происхождения способны снижать артериальное давление, взаимодействуя с рецепторами, сопряженными с G-белком [11].

В ряде исследований выявлена связь между изменениями численности и видового состава бактерий *Clostridia*, *Bacteroides*, *Desulfovibrio*, *B. fragilis*, *Subdoligranulum*, *Lactobacillus* и аутизмом; *Prevotellaceae*, *Enterobacteriaceae* – болезнью Паркинсона; *Clostridia*, *Bacteroides*, *Verrucomicrobia* – болезнью Альцгеймера. Показано, что для лиц с аутизмом характерно повышенное содержание в кишечнике короткоцепочечных жирных кислот (в первую очередь пропионата), обусловленное метаболической активностью *Clostridium spp.* и *Sutterella wadsworthensis*. Болезнь Паркинсона связывают с гибелью дофаминэргических нейронов черной субстанции головного мозга и, как следствие, недостаточной выработкой дофамина. Микробиота продуцирует данный нейромедиатор из пищевых субстратов и, вероятно, может влиять на его уровень в мозге. Наоборот, системное хроническое воспаление, обусловленное высокой концентрацией бактериальных ЛПС в крови лиц с болезнью Паркинсона, может способствовать прогрессу заболевания. В частности, разруше-

нию дофаминэргических нейронов предшествует накопление в них телец Леви, состоящих из агрегированного альфа-синуклеина, которое усиливается при воспалительных процессах в организме, и особенно в нейроглии. Более того, существует гипотеза, что аномальное количество альфа-синуклеина инициируется в кишечнике, а затем распространяется через блуждающий нерв в мозг. Нейровоспалительные реакции, вызванные бактериальными ЛПС, нейроактивными соединениями и некоторыми другими метаболитами, способствуют отложению бета-амилоида в головном мозге и могут вносить свой вклад в патогенез болезни Альцгеймера [11, 12].

Активно изучается роль кишечной микробиоты в развитии аутоиммунных заболеваний. В модельных опытах показано, что у гнотобиотных (безмикробных) мышей ревматоидный артрит (РА) не развивается, что указывает на участие микробиоты в его патогенезе. У пациентов с РА отмечено снижение таксономического разнообразия микробиоты, позитивно коррелирующее с уровнем аутоантител и продолжительностью болезни, а также увеличение количества бактерий родов *Prevotella* (в первую очередь *Prevotella copri*) и *Collinsella* при снижении относительной численности *Faecalibacterium*. Показано, что некоторые виды *Collinsella* индуцируют синтез IL-17 – ключевого цитокина, вовлеченного в патогенез РА, а также способствуют повышению проницаемости кишечного эпителия и развитию системного воспаления. Микробиом кишечника пациентов с atopическим дер-

матитом характеризовался увеличением численности бактерий *Clostridium* (*C. difficile*), *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, уменьшением количества *Bacteroidetes* и *Bifidobacterium*. Предполагается, что обилие в кишечнике условно-патогенных микроорганизмов может приводить к снижению индукции регуляторных T-клеток (Treg), потере иммунной толерантности, повышенной проницаемости кишечника и эозинофильному воспалению, способствующими развитию atopического дерматита. В то же время в образцах кала пациентов с данным заболеванием снижено содержание бутирата и пропионата, обладающих противовоспалительным действием, а у лиц с легкой формой atopического дерматита детектируется более высокое количество бутират-продуцирующих бактерий (например, *Coprococcus eutactus*) [11].

Исследования последних лет свидетельствуют о взаимосвязи микробиоты кишечника и канцерогенеза. Обсуждаются три основных пути влияния микроорганизмов на образование злокачественных опухолей: продукция веществ, действующих как канцерогены; стимуляция хронического воспаления (воспалительные медиаторы, секретируемые при этом процессе, способствуют пролиферации клеток, активации онкогенов и ангиогенеза); воздействие на пролиферацию клеток (через активацию NF- κ B и ингибирование клеточного апоптоза) [13].

Инфицирование бактериями *Helicobacter pylori*, отнесенными Международным агентством по изучению рака к канцерогенным агентам, ассоциировано с высоким риском развития рака пищевода, желудка и под-

желудочной железы. Повышенное содержание в фекальном материале *Desulfovibrio*, *Escherichia*, *Faecalibacterium* и *Oscillospira* предложено использовать в качестве прогностического маркера рака желудка, бактерий семейства *Lachnospiraceae* – рака пищевода, *E. coli* – рака печени [13, 14]. В модельных опытах показано, что онкогенное действие бактерий рода *Desulfovibrio* связано с продукцией ими сероводорода, индуцирующего образование монооксида азота, IL-1 β и IL-18, которые являются медиаторами хронического воспаления. Выявлена связь между отдельными представителями кишечной микробиоты и колоректальным раком. У пациентов с данным заболеванием снижено количество *Eubacterium rectale* и *F. prausnitzii*, повышен уровень *Enterococcus faecalis*, *Fusobacterium nucleatum* и *B. fragilis*. Показано, что *F. nucleatum* может способствовать прогрессии опухоли с вовлечением как прямых, так и опосредованных через воспаление механизмов. Высокое содержание ДНК бактерий данного вида в опухолевой ткани связано с худшим прогнозом заболевания. Онкогенное действие отдельных штаммов *E. coli* обусловлено продукцией генотоксических факторов патогенности, в частности колибактина и цитолетального растягивающего токсина. Они индуцируют разрывы ДНК, приводят к остановке клеточного цикла либо гибели клеток, влияют на физиологические процессы в инфицированных клетках (воспаление, модуляция иммунного ответа, др.). Энтеротоксин фрагилизин, продуцируемый некоторыми штаммами

B. fragilis, способствует высвобождению β -катенина, перемещение которого в ядро приводит к синтезу протоонкогена *C-myc* и усилению пролиферации опухолевых клеток.

Инфицирование *Chlamydia spp.*, *H. pylori* и сопутствующее воспаление рассматривается как потенциальный триггер развития онкогематологических заболеваний. Доклинические исследования показали, что *Prevotella heparinolytica* может стимулировать в кишечнике Т-хелперы

17 (*Th17*), которые мигрируют в костный мозг и способствуют прогрессированию множественной миеломы. У пациентов с данным заболеванием наблюдался дисбиоз, отмечалось увеличение численности бактерий отдела *Proteobacteria*, родов *Bacterioides*, *Faecalibacterium*, *Roseburia* на фоне снижения количества *Actinobacteria*. Сообщалось как об увеличении, так и об уменьшении представленности бактерий семейства *Clostridiaceae* у детей

с острым лимфобластным лейкозом (ОЛЛ), а также отдела *Firmicutes* у взрослых пациентов с опухолевыми заболеваниями крови (ОЗК). Микробиом пациентов с ОЛЛ характеризовался повышенным содержанием *Bacteroides clarus*, *E. faecalis*, *Streptococcus spp.* и семейства *Staphylococcaceae*, в то время как лейкоз сопровождался снижением численности бактерий рода *Blautia*. При всех типах ОЗК диагностировалось значительное уменьшение так-

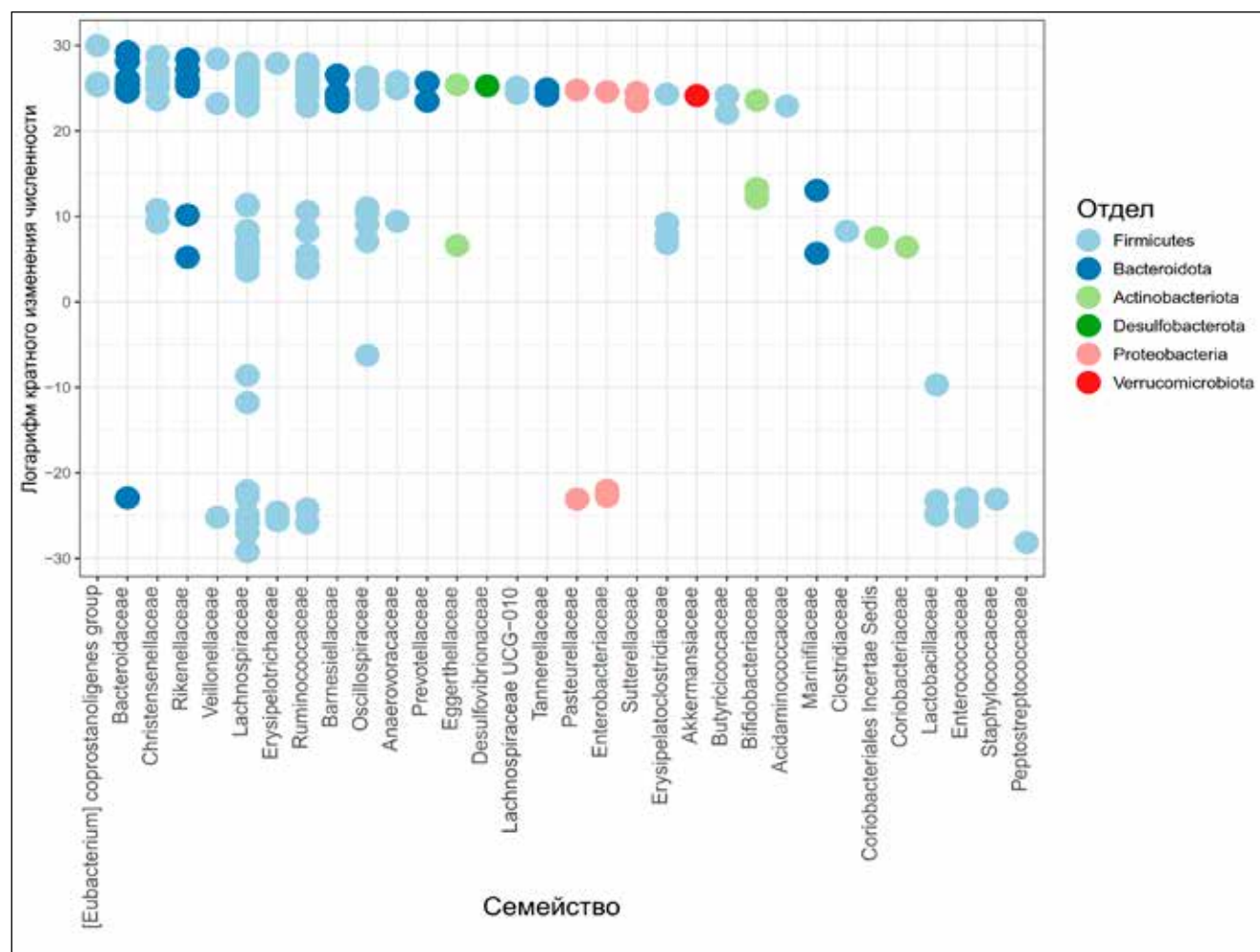


Рисунок. Таксоны, численность которых статистически значимо отличалась у здоровых лиц и группы пациентов с онкогематологическими заболеваниями на основе установленных значений логарифма кратного изменения ($\log_2\text{FoldChange}$). Положительные значения логарифма отражают таксоны, встречающиеся в большем относительном количестве в сравнении с пациентами. Соответственно, отрицательные значения отражают таксоны, более представленные у пациентов. Источник: [15]

сономического разнообразия микробиоты, вероятно, вызванное приемом антибиотиков и интенсивной химиотерапией.

Исследования, направленные на выявление изменений микробиоты, ассоциированных с различными патологиями, начаты и в нашей стране. В частности, Институтом микробиологии НАН Беларуси совместно с РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии проведен метагеномный анализ микробиоты пациентов с онкогематологическими заболеваниями и здоровых лиц [15]. Показано, что у первых наблюдается достоверное снижение таксономического разнообразия микробиоты, а ее состав более вариабелен по сравнению со здоровыми людьми. На уровне отдельных таксонов отмечено существенное увеличение представленности семейств *Enterobacteriaceae*, *Enterococcaceae* и *Streptococcaceae*, среди которых много патогенов и условных патогенов. Повышенное содержание бактерий названных семейств может рассматриваться как признак дисбиоза, вызванного химио- и / или антибиотикотерапией, и указывать на риск инфекционных осложнений. Кроме того, микробиота пациентов с ОЗК отличалась от микробиоты здоровых людей по видовому и родовому составу отдельных семейств (рисунок). Доминирующим видом семейства *Bacteroidaceae* в группе пациентов был *Bacteroides vulgatus*, увеличение численности которого, вероятно, связано с приемом блокаторов протонной помпы (омепразола или пантопрозола), в то время как другие виды бактерий практически не детектировались. Отмечалось досто-

верное повышение представленности в микробиоме пациентов бактерий рода *Veillonella* (семейство *Veillonellaceae*), *Tuzzerella* и *Sellimonas* (семейство *Lachnospiraceae*), *R. torques* (семейство *Ruminococcaceae*), увеличение численности которых наблюдалось другими исследователями у лиц с раком легкого, прямой кишки и ВЗК. В то же время микробные таксоны, которые могли бы рассматриваться в качестве потенциальных прогностических маркеров онкогематологических заболеваний, выявлены не были. Это может быть связано с различной этиологией опухолевых заболеваний крови и относительно небольшой группой пациентов, включенных в исследование.

Несмотря на значительный прогресс в области изучения микробиоты кишеч-

ника человека, молекулярные механизмы ее участия в патогенезе различных заболеваний до сих пор плохо охарактеризованы. Сведения об изменениях качественного и количественного состава микробиома при одной и той же патологии, полученные разными исследователями, зачастую противоречивы. Остается актуальным вопрос, является ли дисбиоз причиной или следствием определенного заболевания. Поэтому требуются дальнейшие исследования для выявления взаимосвязи между таксономическим составом и функциональной активностью микробиоты и развитием заболеваний человека, а также возможности направленной коррекции кишечного микробиоценоза для профилактики и лечения различных патологий. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. E. Thursby. Introduction to the human gut microbiota / E. Thursby, N. Juge // *Biochem. J.* 2017. Vol. 474, №11. P. 1823–1836.
2. What is the healthy gut microbiota composition? A changing ecosystem across age, environment, diet, and diseases / E. Rinnella [et al.] // *Microorganisms*. 2019. Vol. 7, №1. Art. 14.
3. Archaea and the human gut: new beginning of an old story / N. Gaci [et al.] // *World J. Gastroenterol.* 2014. Vol. 20. P. 16062–16078.
4. Liang G. The human virome: assembly, composition and host interactions / G. Liang, F.D. Bushman // *Nat. Rev. Microbiol.* 2021. Vol. 19. P. 514–527.
5. С.Г. Макарова. Кишечная микробиота и использование пробиотиков в практике педиатра. Что нового? / С.Г. Макарова, Л.С. Намазова-Баранова // *Педиатрическая фармакология*. 2015. Т. 12, №1. С. 38–45.
6. Role of the normal gut microbiota / S.M. Jandhyala [et al.] // *World J. Gastroenterol.* 2015. Vol. 21, №29. P. 8787–8803.
7. Y. Chen. Role and Mechanism of Gut Microbiota in Human Disease / Y. Chen, J. Zhou, L. Wang // *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2021. Vol. 11. Art. 625913.
8. Y. Ca. Association between *Faecalibacterium prausnitzii* reduction and inflammatory bowel disease: a meta-analysis and systematic review of the literature / Y. Ca, J. Shen, Z.H. Ran // *Gastroenterol. Res. Pract.* 2014. Vol. 2014. Art. 872725.
9. Dietary-fat-induced taurocholic acid promotes pathobiont expansion and colitis in IL10^{-/-} mice / S. Devkota [et al.] // *Nature*. 2012. Vol. 487. P. 104–108.
10. М.А. Машкова. Роль кишечной микрофлоры в развитии ожирения и сахарного диабета 2 типа / М.А. Машкова, Т.В. Мохорт // *Лечебное дело*. 2016. №5. С. 64–70.
11. A. Vijay. Role of the gut microbiome in chronic diseases: a narrative review / A. Vijay, A.M. Valdes // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2022. Vol. 76, №4. P. 489–501.
12. К.В. Соболев. Роль микробиоты при нейродегенеративных заболеваниях / К.В. Соболев // *Онтогенез*. 2018. Т. 49, №6. С. 333–352.
13. S. Parida. The microbiome and cancer: creating friendly neighborhoods and removing the foes within / S. Parida, D. Sharma // *Cancer Res.* 2021. Vol. 81, №4. P. 790–800.
14. Н.С. Багиров. Микробиом и рак: есть ли связь? Обзор литературы / Н.С. Багиров, И.Н. Петухов, Н.В. Дмитриев, З.В. Григорьевская // *Злокачественные опухоли*. 2018. №3 с1. С. 56–69.
15. Gut microbiome of healthy people and patients with hematological malignancies in Belarus / K.V. Akhremchuk [et al.] // *MIR Journal*. 2022. Vol. 9, №1. P. 18–30.



Олег Баранов,
завлабораторией
геномных исследований
и биоинформатики
Института леса НАН Беларуси,
член-корреспондент



Станислав Пантелеев,
ведущий научный
сотрудник лаборатории
геномных исследований
и биоинформатики Института
леса НАН Беларуси, кандидат
биологических наук



Любовь Иващенко,
магистрант кафедры
лесозащиты
и древесиноведения
Белорусского
государственного
технологического
университета



Леса – важнейшее природное богатство Беларуси. Занимая порядка 40% всей территории страны, они представляют собой не только важную составляющую хозяйственной деятельности, но также выполняют широкий спектр экологических и социальных функций. Исходя из этого, главной целью ведения лесного хозяйства в нашей стране является рациональное управление имеющимися ресурсами и их воспроизводство, что обеспечивает сохранение их биоразнообразия, повышение биологической продуктивности и устойчивости. В последнее время все большее внимание уделяется применению экосистемных методов и подходов, основанных на рассмотрении лесных ценозов как совокупности взаимодействующих систем, представленных различными группами живых организмов. Среди всех взаимодействующих групп лесных видов особое место занимает система «древесные растения – микроорганизмы». Исходя из разнородности экологических признаков тип их взаимо-



МЕТАГЕНОМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ВИДОВ В БЕЛАРУСИ

отношений может быть прямым или опосредованным и представлен различными формами симбиоза, антибиоза, хищничества (применительно к некротрофным видам микроорганизмов) и нейтрализма. Изучение генетических аспектов взаимодействия в данной системе имеет как научную значимость (для решения различных фундаментальных вопросов физиологии, таксономии, систематики, экологии), так и практическую ценность – для восстановления, селекции и защиты леса.

Оценка результатов молекулярно-генетического анализа сообществ микроорганизмов в зависимости от типа решаемых задач может быть выполнена с использованием различных подходов, основные из которых – редукционистский (предусматривает расчленение суммарных данных о видах на составные части и их дальнейший анализ) и холистический (основан на рассмотрении метагенома сообщества как единого целого). Ведущую роль во втором подходе играют методы кластерного анализа, анализа микробиомов в таксономическом пространстве и др.

Микробиомы описываются с помощью отдельных ДНК-маркеров (метагенетический анализ), а также компилированных геномов (метагеномный анализ). При этом следует отметить, что полная или фрагментарная сборка геномов микроорганизмов при секвенировании их сообществ зачастую сопряжена с высокой вероятностью получения химерных последовательностей, включающих генетический материал различных видов и генотипов. Кроме того, одним из методологических аспектов высокопроизводительного секвенирования, отмечаемым на стадии создания и амплификации ДНК-библиотек, является эффект «бутылочного горлышка» для исходных матриц, что, как правило, затрудняет последующую точную количественную оценку входящих в сообщество видов микроорганизмов. Вследствие вышеуказанных особенностей для описания микробиоценозов нами используется сравнительный анализ первичного (неассемблированного) пула генетических данных, получаемого при секвенировании. Следует добавить, что его постоянное совершенствование, направленное на увеличение длины

прочтения ДНК-матриц, делает данную стратегию анализа, на наш взгляд, наиболее перспективной. Диагностируемые в общем пуле генетических данных ДНК-маркеры могут отражать как таксономическую принадлежность последовательностей (баркодинговые локусы, гены «домашнего хозяйства» и др.), так и свидетельствовать о функциональной (метаболической) значимости кодируемых ими белков, формирующих в целом общую систему метаболизма ассоциации. Недостаток данного подхода – значительный массив данных (от 500 тыс. и более последовательностей), требующих проведения функциональной аннотации.

Второй применяемый нами подход к анализу состава и структуры микробиомов базируется на использовании баркодинговых маркеров, характеризующихся специфическими размерами продуктов амплификации или рестрикции для разных видов микроорганизмов. Получаемые электрофоретические профили (с учетом их качественных и количественных параметров) микробных сообществ являются своеобразным «молекулярным паспортом», отражающим их структурные и функциональные характеристики (рис. 1).

Из-за отсутствия в базах данных и определителях (представленных на различных интернет-ресурсах в открытом доступе) видового описания для значительного числа микроорганизмов их обозначение может проводиться не на основании применения бинарного таксономического названия, а с использованием значения молекулярного размера маркерных регионов. Кроме того, описываемые генотипы микробиоты могут приравниваться не к отдельным видам, а к операционным таксономическим единицам (ОТЕ), которые в свою очередь способны объединять как близкородственные виды, так

и видовые комплексы, не обладающие дискретными молекулярно-генетическими различиями по имеющемуся перечню ДНК-маркеров.

Среди основных направлений метагеномных исследований лесных видов можно выделить следующие: фитопатологическое – связанное с диагностикой возбудителей заболеваний древесных растений, а также селекционным отбором форм деревьев с повышенной резистентностью к различным типам болезней; биотехнологическое – направленное на оптимизацию видовой структуры микробиоты корневых систем и ризосферы растений, что обеспечивает повышение их биологической продуктивности и устойчивости к воздействию различных негативных абиотических и биотических факторов среды.

В диагностике возбудителей фитозаболеваний важен не только непосредственный анализ пораженных растений, но и выявление потенциальных источников инфекции: почвы, воды (используемой для полива), насекомых (как основного вектора распространения трансмиссивных заболеваний) и др. Не менее значима и оценка эффективности профилактических и защитных мероприятий.

В ходе широкомасштабного молекулярно-фитопатологического обследования лесных питомников, лесных культур и древостоев, расположенных на территориях 62 лесохозяйственных учреждений Минлесхоза, НАН Беларуси, Минобразования, установлено, что в большинстве (>90%) образцов инфицированных растительных тканей были диагностированы мульти-видовые спектры микроорганизмов, в основном представленные патогенными грибами. Несмотря на комплексный характер инфекции, наибольшим количеством обычно характеризовался

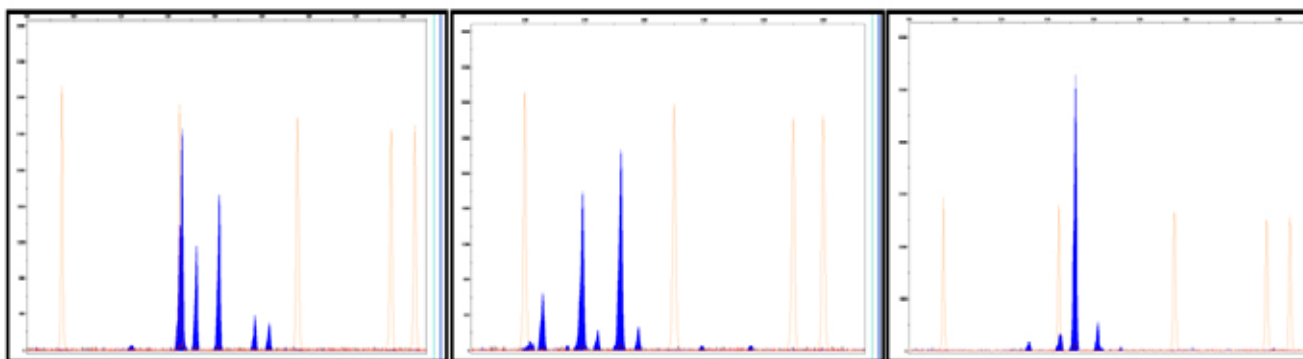


Рис. 1. Электрофоретические спектры микробиомов образцов инфицированной хвои сеянцев сосны обыкновенной из разных лесных питомников (ДНК-маркер ITS1)

какой-либо один или несколько видов фитопатогенов. При этом доминирующие виды микроорганизмов могли диагностироваться как в составе сообществ, так и формировать моноинфекции, что указывает на их ведущую роль в патогенезе растений. В то же время большинство сопутствующих микроорганизмов встречалось зачастую нерегулярно и исключительно в составе сообществ, что позволяло по результатам обследования относить их к группам вторичных патогенов и сапротрофов. Исходя из полученных результатов молекулярно-генетического анализа инфицированных тканей, нами была разработана тест-система для экспресс-диагностики смешанных инфекций лесных древесных растений, основанная на использовании универсальных праймеров, позволяющих идентифицировать одновременно генетический материал широкого спектра видов грибов и бактерий (рис. 2). При этом для каждой древесной породы и типа болезней (семян и плодов, сеянцев, побегов, ветвей и стволов и др.) разработан молекулярно-генетический определитель (более 200 таксонов), способный распознавать фитопатогенные организмы с высоким уровнем точности. Также следует отметить, что деплеция внеклеточной ДНК на стадии пробоподготовки или проведение диагностики на основе РНК-матриц, кроме видовой идентификации, позволяет установить и физиологический статус фитопатогенов.

Аналогичные подходы применяются нами и при анализе потенциальных источников инфекции. Однако значительное разнообразие микроорганизмов в объектах окружающей среды не всегда позволяет определить возбудителей заболеваний, имеющих наибольшую хозяйственную значимость. Так, например, анализ почвенного субстрата из ризосферы сеянцев сосны, инфицированных *Pyonectria* sp. (корневая гниль), показал, что долевое участие фитопатогена в микробиоме не превышало 5%. Еще одним примером являются результаты изучения доминирующих групп микромицетов в микробиомах насекомых-консортотов лиственных пород. Установлено, что большинство из них – условные паразиты (или симбионты)

насекомых (*Nakazawaea wyomingensis*, *Candida oregonensis* и др.) или некротрофные фитопатогенные виды (*Cladosporium* spp., *Alternaria* spp., *Phoma* spp., *Epicoccum* spp. и др.), способные инфицировать широкий спектр растительных организмов. В то же время в микробиомах ксилофагов (и энтомофагов, обитающих под корой), как правило, преобладали различные виды дроворазрушающих грибов, или фитопатогены, вызывающие сосудистые микозы (*Ophiostoma* spp., *Ceratocystis* spp. и др.). В целом в микробиомах насекомых среди видов с низким уровнем (<5%) представленности было идентифицировано более 200 видов микромицетов, способных проявлять фитопатогенные свойства (*Phomopsis* spp., *Didymella* spp., *Erysiphe* spp. и др.).

Оценка эффективности защитных мероприятий основана на сравнительном анализе структуры микробиомов до и после проведения обработок химическими препаратами или выполнения агротехнических уходов. Кроме того, ежегодный мониторинг микробных сообществ растений и объектов окружающей среды в различных лесных объектах позволяет определить основные неблагоприятные факторы, оказывающие влияние на их фитосанитарное состояние.

Еще одно направление в исследовании сообществ микроорганизмов и установлении молекулярных механизмов их взаимодействия с древесными растениями – метатранскриптомный анализ. В отличие от метагеномного, он дает возможность не только изучать микробное разнообразие и его функциональный потенциал, но и осуществлять



Рис. 2. Тест-система для экспресс-диагностики смешанных инфекций лесных древесных растений

молекулярно-генетическую оценку доминирующих патофизиологических процессов, включая определение уровня транскрипции генов патогенности (*pat*) и вирулентности (*vir*) фитопатогенов, а также генов резистентности (*r*) и патогенез-ассоциированных генов (*pr*) древесных растений.

В качестве примера можно привести метатранскриптомный анализ всходов сосны обыкновенной с признаками инфекционного полегания, по результатам которого установлено, что наряду с широко описываемыми в литературе микромицетами *Fusarium spp.*, *Aureobasidium spp.*, *Rhizoctonia spp.*, *Cladosporium spp.*, *Botrytis spp.*, *Alternaria spp.*, *Phoma spp.* у пораженных растений выявлялись и различные виды *Pseudomonas* (рис. 3). Кроме указанных родов, в меньшем количестве в патосистеме диагностированы эукариотические (*Pythium spp.*, *Periglandula spp.*, *Chaetomium spp.*, *Cryptococcus spp.* и др.) и прокариотические (*Cellvibrio spp.*, *Arthrobacter spp.*, *Flavobacterium spp.*) микроорганизмы. Общее количество идентифицированных в ходе исследования видовых таксонов составило порядка 14,5 тыс. ед. Однако для большинства из них доле участие в микробиоме не превысило 0,1%. По результатам аннотации факторов вирулентности и патогенности микромицетов диагностированы транскрипты белков семейств KSA, NSP, SNOG037, SNOG0557 и др., бактерий T3SS, PHOP, FLES и др. Применительно к сеянцам сосны обыкновенной в патосистеме выявлены транскрипты генов белков семейств *CaM*, *HSP40s*, *HSP70*, *HSP90*, *LRR-RLK*, *PR-1*, *PR-4*, *SS/AF*, *LEA3*, *PR-3*, *PR-5*, *PR-9*, *PR-10* и др., участвующих в формировании защитного ответа при инфицировании.



Рис. 3. Формирование очага инфекционного полегания сеянцев сосны

На основе анализа транскрипционной активности, структурно-функциональных особенностей и полиморфизма данных генов разработана тест-система и проведен селекционный отбор в лесных питомниках учреждений Минлесхоза сеянцев сосны обыкновенной, с использованием которых создан объект опытных лесных культур с повышенной устойчивостью к фитозаболеванию – инфекционному полеганию сеянцев.

Среди биотехнологических аспектов метатранскриптомного анализа наиболее значимо изучение видовой структуры микориз и микробиомов ризосферы растений для последующей разработки биопрепаратов ростостимулирующего и защитного действия, применение которых обеспечивает повышение эффективности выращивания лесного посадочного материала и проведения работ по лесовосстановлению и лесоразведению, а также снижение трудовых и финансовых затрат при выполнении данных мероприятий.

Одна из особенностей формирования микориз лесообразующих древесных растений – наличие сукцессии микробиоты, то есть на различных стадиях онтогенеза в качестве грибного компонента микориз могут выступать различные группы микро- и макромицетов. Так, в возрасте 1–3 лет в корневых окончаниях, как правило, доминируют различные виды аскомицетов и дейтеромицетов. В последующем происходит постепенная трансформация микробиома с увеличением долевого участия базидиомицетов. Несмотря на то, что ассоциации микоризообразующих грибов с корнями растений широко распространены в природе, проведенный нами анализ посадочного материала в лесных питомниках показал,

что видовая структура микориз, образуемых естественным путем, в основном представлена условно-патогенными грибами (*Wilcoxina spp.*, *Trichoderma spp.*, *Meliniomyces spp.*, *Thelephora spp.* и др.), которые в случаях ослабления растений (например, в условиях абиотического стресса) оказывали на них отрицательное воздействие, выступая уже в качестве факультативных паразитов.

Исходя из полученных результатов, нами была разработана стратегия отбора микроорганизмов, направленная

на поиск видовых ассоциаций и комплексов, которые наряду со стимулирующим действием не способны вызывать инфекционное поражение растений при различных негативных флуктуациях факторов среды. Для реализации данной стратегии в рамках ГП «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» начаты исследования по метагеномному анализу микориз в лесных культурах (леса искусственного происхождения) для последующей разработки биопрепаратов на основе высокоактивных штаммов почвенных грибов. Актуальность данных работ связана не только с востребованностью лесохозяйственными учреждениями страны данных типов препаратов, но и с выраженным экспортным потенциалом их производства. Анализ перечня существующих на мировом рынке биопрепаратов, содержащих симбиотические грибы, показал, что их действие не является универсальным для большого числа растений. Значительная часть составов ориентирована на применение в сельском хозяйстве при выращивании зерновых и бобовых культур. Указанные препараты создаются на основе грибов рода *Glomus*, образующих везикулярно-арбускулярную микоризу (эндомикоризу), не имеющих применения в практике микоризации при выращивании лесного посадочного материала. Среди микоризообразующих препаратов лесных пород перспективны комплексные составы, включающие не только грибной компонент, но и бактериальный, оказывающий стимулирующее действие на процессы микоризообразования (*mycorrhiza helper bacteria* (МНВ)). Использование метагеномного подхода позволяет разработать полифункциональные микоризные инокулянты нового поколения, формирующие стабильный многокомпонентный экто- и эндосимбиоз почвенных грибов с корневыми системами сеянцев и саженцев хвойных пород на различных этапах их выращивания.

Среди проведенных метагеномных исследований микориз лесных видов следует отметить совместную работу Института леса с Полесским государственным университетом, связанную с анализом микробиомов корневых окончаний голубики высокорослой и черники обыкновенной. В результате молекулярно-генетического анализа идентифицирован широкий спектр видов грибов, относящихся к родам *Botryosphaeria*, *Chaetomium*, *Cylindrocarpon*, *Gaeumannomyces*, *Lachnum*, *Leptosphaeria*, *Neonectria*, *Oidiodendron*, *Pezicula*, *Phialocephala*, *Phomopsis*, *Trichoderma*,

Umbelopsis. В большинстве случаев в составе метагенома каждого из проанализированных образцов корневых окончаний преобладали 4–6 (с долевым участием в сообществе >5%) ОТЕ микромицетов. Количество детектируемых сопутствующих ($P_i < 5\%$) или находящихся в следовом количестве ($P_i < 0,1\%$) ОТЕ для разных образцов варьировало в существенной степени – 3–22. В ходе последующих микробиологических работ были получены изоляты двух видов микромицетов: *Phialocephala fortinii* и *Pezicula* sp., доминирующих в микобиомах *V. corymbosum* и *V. myrtillus* соответственно. При проведении повторной биотизации асептических культур голубики и черники биопрепаратами на основе выделенных изолятов повторно получены микоризы с верифицированным содержанием *Phialocephala fortinii* и *Pezicula* sp.

Последующее развитие метагеномных исследований лесных видов предусматривает разработку новых подходов к анализу патосистем, включающих их функциональную оценку, а также выявление молекулярных маркеров формирования очагов инфекций. Согласно нашим исследованиям и данным литературы, экологические характеристики штаммов и видов зачастую имеют генетическую природу, что выражается в наследовании патогенных (в случае с растениями), антагонистических, конкурентных и синтрофных (по отношению к другим микроорганизмам) свойств. Процессы трансформации сообществ фитопатогенных микроорганизмов, как правило, направлены на структурные преобразования не конкретных таксономических единиц, а общего метаболизма сообщества. Исходя из этого для описания свойств микробиомов и функциональной оценки метаболомов фитопатогенных микроорганизмов, на наш взгляд, наиболее перспективен анализ совокупной структуры и изменчивости локусов, детерминирующих факторы патогенности и вирулентности. Это подтверждается тем, что большинство фитопатогенных микроорганизмов и их сообществ могут быть сгруппированы на основании перечня генов, детерминирующих тот или иной тип патогенетических процессов, что может являться молекулярно-фитопатологическим признаком данных патосистем. ■

ОТРАСЛЕВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ СДВИГИ В БЕЛОРУССКОЙ ЭКОНОМИКЕ: НАПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКА



Екатерина Рожковская,
доцент кафедры
национальной экономики
и государственного
управления БГЭУ, кандидат
экономических наук, доцент;
E.Rozhkovskaya@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу и оценке интенсивности долгосрочных отраслевых сдвигов в отечественной экономике за период с 1990 по 2020 г. Определены их ключевые особенности и специфика, установлен конвергентный характер изменений отраслевой структуры экономики Беларуси и развитых стран. Обосновывается вывод о снижении интенсивности структурных преобразований в республике, что свидетельствует о замедлении потенциала роста экономики и обуславливает необходимость реализации государственной структурной политики.

Ключевые слова: структурные сдвиги, экономический рост, отраслевая структура, белорусская экономика, интенсивность структурных сдвигов, конвергентность структур экономики.

Для цитирования: Рожковская Е. Отраслевые структурные сдвиги в белорусской экономике: направления и оценка // Наука и инновации. 2022. №8. С. 44–50. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-44-50>

Развитие любой экономической системы неизменно сопровождается изменениями в структуре производства, потребления, доходов, занятости и цен. Структурные сдвиги, вызванные преобразованиями системы воспроизводства и механизма функционирования экономики, обусловленные долгосрочными демографическими и инновационно-технологическими трендами, изменением относительной стоимости факторов производства и системы потребительских предпочтений, выступают комплексной характеристикой, «срезом» устройства экономической системы и, в свою очередь, сами определяют возможности и перспективы эко-

номического развития. Вместе с тем структурные диспропорции и нерациональная отраслевая структура экономики, неблагоприятный характер сдвигов в направлении, например, упрощения структуры производства могут выступать одним из наиболее значимых ограничений роста, способствуя усилению процессов экономической дивергенции с развитыми странами. Это обуславливает необходимость анализа основных тенденций и механизмов отраслевых сдвигов, а также выработки и совершенствования структурной политики, направленной на сглаживание отраслевых диспропорций, устранение структурных дисбалансов, повышение конкурентоспособности экономики.

Наблюдающееся в последнее десятилетие замедление макроэкономической динамики Беларуси зачастую связывают с застывшей неэффективной структурой производства, отсутствием прогрессивных сдвигов в экономике и ухудшением ее технологических характеристик [1, 2]. Несмотря на ряд работ в области анализа структурных сдвигов и оценки их влияния на экономический рост в республике [3, 4], не до конца решенными остаются вопросы о направленности и интенсивности изменений отраслевой структуры, факторах и механизмах, лежащих в их основе. В данной статье предпринята попытка ответить на вопросы: в каком направлении и с какой интенсивностью менялась структура отечественной экономики за последние 30 лет? как она соотносится со структурой экономик развитых стран? имеют ли произошедшие структурные сдвиги прогрессивный, конвергентный характер?

Методологическая и информационная базы исследования

В соответствии со структуралистским подходом, возможности роста экономической системы рассматриваются с точки зрения особенностей и важнейших характеристик ее структуры. При этом полагается, что ключевым фактором экономического роста, особенно в странах, реализующих модель догоняющего развития, является трансформация структуры производства и ускоренная модернизация отраслей, обеспечивающих повышение производительности труда [5].

Многочисленные исследования показывают, что подъем экономик развитых стран в период до 1970-х гг. был вызван радикальными структурными сдвигами, обеспечивающими под влиянием научно-технического и технологического прогресса переток ресурсов из низкопроизводительных – сельское хозяйство – в высокопроизводительные секторы: промышленность, а затем сферу услуг [6]. Изменение отраслевых пропорций в связи с расширением видов экономической деятельности (ВЭД) с высокой степенью переделов, обеспечивая удлинение цепочек создания стоимости и распространение технологических инноваций, способствует формированию более производительной структуры экономики, генерирует высокие темпы экономического роста.

Взаимодействие между структурными сдвигами и экономическим ростом описывается двусторонней связью, представленной на рис. 1.

С одной стороны, прогрессивная трансформация отраслевой структуры обеспечивает рост производительности за счет перелива труда, капитала и технологий в секторы с высокой добавленной стоимостью (ВДС). Эти процессы, в свою очередь, стимулируют производство в смежных областях, способствуют формированию его более сложной, диверсифицированной структуры, что позволяет демпфировать негативное влияние шоков (внешних, внутренних) на макроэкономическую динамику за счет переключения выпуска между отраслями. Одновременно структурные сдвиги могут сопровождаться изменением соотношения между импортными и отечественными товарами в результате, например, увеличения инвестиционного или потребительского импорта, проведения политики импортозамещения и т.д., непосредственно определяя динамику ВВП.

С другой стороны, экономический рост, сопровождаемый совершенствованием механизмов макроэкономического регулирования, изменением ценовых пропорций и динамики обменного курса национальной валюты, способствует изменению конкурентоспособности отдельных секторов экономики, вызывая сдвиги в отраслевой структуре производства. Увеличение доходов, расширение конечного и промежуточного спроса, трансформация структуры инвестиционных и потребительских расходов формируют изменения в отраслевых выпусках отечественной продукции, которые через действие эффекта мультипликатора могут вызывать рост производства добавленной стоимости в смежных видах экономической деятельности. Сдвиги в структуре НДС могут быть обусловлены, например, совершенствованием институциональной и макроэкономической среды,



Рис. 1. Концептуальная схема взаимовлияния отраслевых структурных сдвигов и экономического роста

Источник: разработано автором

Показатель	Беларусь		Чехия		США		Россия		Молдова		Марокко	
	2000	2020	2000	2020	2000	2019	2000	2020	2000	2020	2007	2018
В целом по экономике	40,0	50,4	40,9	42,2	54,1	55,8	44,7	49,4	42,3	54,7	53,4	56,5
Сельское хозяйство	38,2	39,4	44,0	36,6	44,8	41,5	54,3	49,7	48,6	58,4	62,5	66,2
Промышленность	27,2	31,6	30,3	29,4	37,5	40,5	41,8	35,6	26,5	35,9	30,9	37,3
Строительство	44,9	44,3	28,5	30,8	50,4	52,8	51,3	41,9	36,1	44,2	39,4	42,7
Транспортная деятельность	58,1	55,3	50,5	40,0	53,1	51,6	61,1	45,2	31,4	46,2	52,7	54,2
Информация и связь	68,8	78,5	48,6	58,6	46,6	61,1	61,1	49,9	47,1	66,6	76,4	61,7
Профессиональная и научно-техническая деятельность	54,8	68,8	39,5	48,0	62,9	63,5	39,9	57,4	50,5	62,7	86,8	86,1
Образование	64,2	79,0	75,1	84,2	77,1	75,3	57,1	77,0	68,6	71,2	90,2	85,4
Здравоохранение	46,8	67,8	59,9	63,7	61,9	60,6	63,7	61,8	51,5	65,1	-	-

Таблица 1. Соотношение между валовой добавленной стоимостью и выпуском в отдельных странах, %

Источник: рассчитано автором по [7]

способствующей более эффективному распределению ресурсов, повышением качества и результативности проводимой экономической и структурно-инвестиционной политики и др.

Вместе с тем формирование и трансформация национальной отраслевой структуры происходит под воздействием структурных изменений в мировой экономике, распространяющихся в результате процессов глобализации и международной интеграции. Анализ основных тенденций в этой сфере позволил выделить следующие важнейшие закономерности, необходимые для понимания направленности изменения структуры белорусской экономики.

Во-первых, это увеличение соотношения между валовой добавленной стоимостью и выпуском продукции как по видам экономической деятельности, так и в целом по экономике, способ-

ствующее формированию ее более эффективной и продуктивной структуры. Расчеты показывают, что в период с 2000 г. и в развитых, и в развивающихся странах отмечалось повышение доли ВДС в объеме отраслевых выпусков, при этом наиболее интенсивные изменения наблюдались в государствах с транзитивной экономикой, реализующих модель догоняющего развития (табл. 1).

Результатом увеличения соотношения между ВДС и выпуском является повышение производительности труда: за 2000–2019 гг. ВДС на 1 занятого вырос в мировой экономике в сфере промышленности в 1,25, в сфере услуг – 1,08 раза. При этом наиболее быстрые темпы были отмечены в экономиках, имеющих резервы для реиндустриализации и активно заимствующих технологические инновации: так, в Беларуси производительность труда в промышленности возросла в 2,7, в России – в 1,8 раза, в сфере услуг в 1,6 и 1,7 раза соответственно (рис. 2).

Во-вторых, это изменение межсекторальных пропорций – соотношений между базовыми секторами экономики: снижение доли сельского хозяйства, промышленности и увеличение удельного веса сферы услуг. Анализ показывает, что в период с 1995 г. и в развитых, и в развивающихся странах отмечалось снижение доли сельского хозяйства в структуре ВДС, рассчитанной в сопоставимых и в текущих ценах, при этом уменьшение его удельного веса в постоянных ценах было менее выраженным.

Наиболее существенные различия в структуре ВДС касаются доли обрабатывающей промыш-

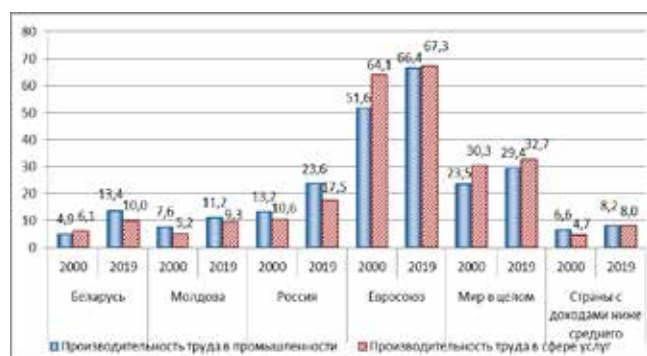
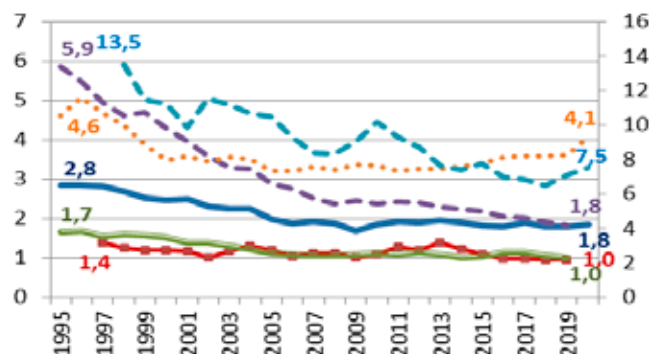
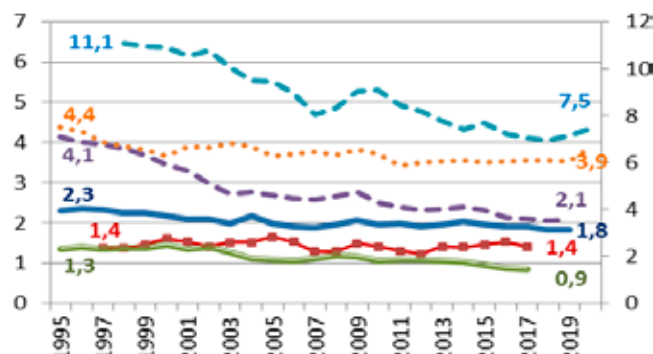


Рис. 2. Динамика ВДС на одного занятого в промышленности и сфере услуг в 2000–2019 гг., тыс. долл., в ценах 2015 г.

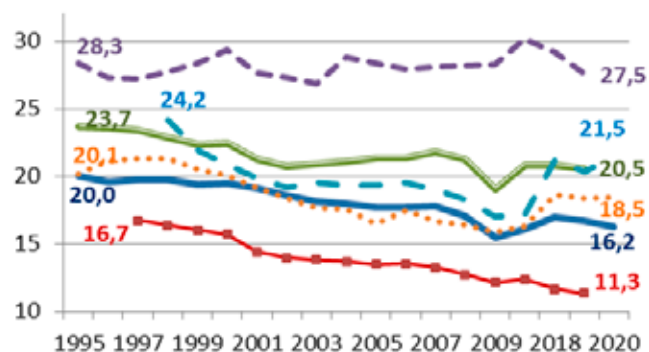
Источник: составлено по [8]



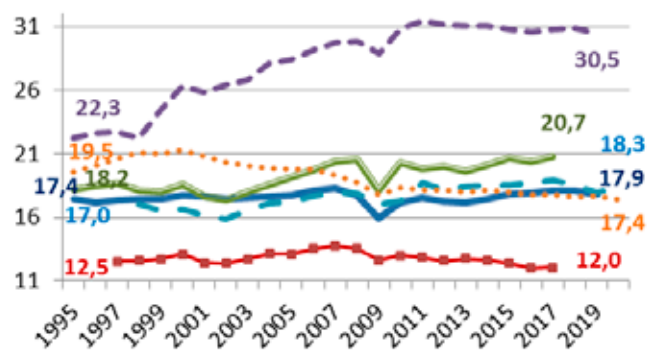
а) Сельское хозяйство, в текущих ценах



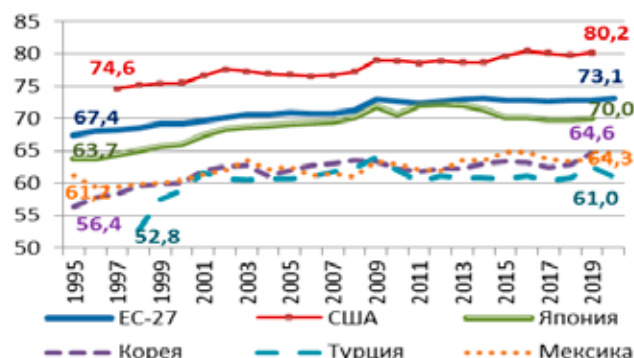
б) Сельское хозяйство, в сопоставимых ценах



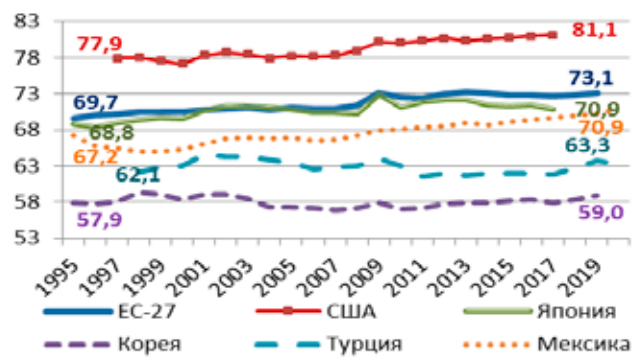
в) Обрабатывающая промышленность, в текущих ценах



г) Обрабатывающая промышленность, в сопоставимых ценах



д) Сфера услуг, в текущих ценах



е) Сфера услуг, в сопоставимых ценах

Рис. 3. Динамика элементов структуры производства ВДС экономик крупнейших развитых и развивающихся стран, %
Источник: рассчитано по [7]

ленности, которая в текущих ценах, как правило, неуклонно снижалась, в то время как в сопоставимых ценах находилась либо на неизменном уровне, либо увеличивалась. Так, в Евросоюзе она возросла с 17,4 в 1995 г. до 17,9% в 2019 г., Кореи — с 22,3 в 1995 г. до 30,5% в 2019 г., Японии — с 18,2 в 1995 г. до 20,7% в 2017 г., Турции — с 17 в 1998 г. до 18,3% в 2020 г. (рис. 3).

Динамика удельного веса сферы услуг в структуре производства ВДС и в сопо-

ставимых и в текущих ценах демонстрировала тенденцию к увеличению, однако рост ее доли в сопоставимых ценах был менее существенным по сравнению с текущими [9].

В-третьих, это внутрисекторальные сдвиги, характеризующиеся увеличением в структуре ВДС удельного веса видов деятельности, связанных с научно-инновационным развитием и человеческим капиталом, выступающих в современных условиях важнейшими

Показатель	1990	2000	2010	2020	Изменение, п.п.
Сфера производства	70,7	51,6	50,5	43,7	-27,0
промышленность	38,9	30,4	29,7	29,2	-9,7
сельское, лесное и рыбное хозяйство	23,6	13,8	10,1	7,8	-15,8
строительство	7,9	7,4	10,7	6,7	-1,2
прочие виды деятельности	0,3	-	-	-	-
Сфера услуг	29,3	48,4	49,5	56,3	27,0
торговля	3,5	10,9	13,0	10,7	7,2
транспорт	5,5	10,9	6,0	5,9	0,4
прочие виды деятельности	20,3	26,6	30,5	39,7	19,4

Таблица 2. Укрупненная отраслевая структура ВДС Беларуси в 1990–2020 гг., %

Источник: составлено автором по [12–14]

факторами экономического роста, обеспечивающих ускоренное развитие креативной, науко- и знаниеёмкой индустрии.

Общей для передовых стран (США, Евросоюза, Японии, Кореи, Канады и др.) тенденцией является повышение в структуре ВДС в текущих и сопоставимых ценах доли медицинских услуг, информации и связи, научно-технической деятельности и снижение услуг государственного управления. Так, в экономике ЕС доля информации и связи возросла в 1995–2020 гг. с 3,8 до 5,5% ВДС в текущих ценах, с 3,1 до 7,9% в сопоставимых; профессиональной и научной деятельности – с 5,6 до 6,7% и с 5,9 до 6,8%; здравоохранения – с 6 до 7,7% и с 6,6 до 6,9% соответственно. При этом сегмент услуг госуправления уменьшился в текущих ценах с 7,1 до 6,9%, в постоянных – с 7,7 до 6,6% ВДС [7]. Кроме того, происходящие структурные изменения характеризуются уменьшением доли услуг образования, что, вероятно, связано с их активным переводом на информационные образовательные платформы [10].

Структурные изменения в белорусской экономике в последние 30 лет происходили в основном в русле общемировых тенденций, однако имели при этом ряд уникальных черт и особенностей, связанных с глубокими трансформационными преобразованиями в результате перехода от плановой к (квази)рыночной экономике и формированием национальной модели экономического развития. Между тем именно эти

сдвиги во многом явились фактором, определяющим темпы и направленность динамики социально-экономического роста Беларуси.

Одна из основных проблем, возникающих при ретроспективном исследовании отраслевых структурных сдвигов в отечественной экономике, связана с недостаточной сопоставимостью отчетных данных. Традиционно такой анализ осуществляется на основе системы национальных счетов (СНС), содержащей информацию по 19 видам экономической деятельности в текущих и сопоставимых ценах, либо таблиц «Затраты – Выпуск», которые в Беларуси публикуются только в текущих ценах и выходят с опозданием на полтора года. В 2006 г. Национальный статистический комитет осуществил переход от классификации отраслей народного хозяйства (ОКОНХ) к видам экономической деятельности (ОКВЭД), в 2011 г. внедрил новый классификатор ОКВЭД ОКРБ 005–2011, в 2016 г. перешел к новой методологии СНС-2008. При этом длительные ретроспективные ряды данных не пересчитывались и не уточнялись, а пересматривались лишь для смежных лет переходных периодов (в СНС). Это привело к появлению ряда принципиальных отличий в номенклатуре ВЭД, которые серьезно затрудняют качественный анализ структурных сдвигов в экономике в единой методологии расчета.

Выходом из сложившейся ситуации может быть агрегирование данных на основе переходных ключей, однако при этом заметно снижается аналитическая ценность исследования за счет уменьшения количества оцениваемых видов экономической деятельности. Альтернативный подход – анализ отраслевой структуры в рамках периодов с неизменной методологией расчета показателей. В данном случае результаты сравнений между периодами могут быть недостаточно сопоставимы с методологической точки зрения, однако могут использоваться для оценки общей направленности и интенсивности структурных сдвигов по отдельным временным интервалам. С точки зрения содержательного анализа, второй подход наиболее предпочтителен, поскольку позволяет выявить особенности изменения отраслевой структуры по относительно дезагрегированной номенклатуре видов деятельности, и на основе единого классификатора ВЭД проводить международные сравнения структуры экономики Беларуси и ряда стран.

Таким образом, в данной работе сопоставление отраслевой структуры ВДС республики проводилось на основе статистических данных СНС

в рамках трех кардинально отличающихся периодов, что оправданно с логической и методологической точки зрения и в целом соответствует последовательной смене моделей экономического роста в стране. Так, 1990–1999 гг. – период системной экономической трансформации и становления институтов и отдельных черт рыночной экономики, сопровождающийся глубокими кризисными явлениями и социально-экономическими потрясениями, а затем, с 1996 г., – переходом в фазу восстановительного роста экономики. 2000–2009 гг. – период интенсивного экономического развития, обусловленный преодолением трансформационного спада, сглаживанием структурных диспропорций, унаследованных от плановой экономики, и формированием усовершенствованной, более производительной ее структуры, но вместе с тем – одновременного усиления макроэкономический несбалансированности, накопления внешних и внутренних дисбалансов, которые наряду с исчерпанием потенциала структурных изменений привели в 2010–2020 гг. к замедлению экономической динамики [11].

Анализ сдвигов в отраслевой структуре белорусской экономики

Анализ укрупненной отраслевой структуры экономики (насколько это возможно с точки зрения корректного соответствия номенклатуры отраслей и видов экономической деятельности) показал, что в целом за 1990–2020 гг. в Беларуси наблюдались общие для индустриально развитых стран тенденции – резкое сокращение доли сферы производства с 70,7 до 43,7%, в том числе сельского хозяйства с 23,6 до 7,8%, промышленности – с 38,9 до 29,2% при практически неизменной доле строительства, а также интенсивный рост удельного веса сферы услуг – с 29,3 до 56,3% ВДС (табл. 2).

При анализе детализированной отраслевой структуры ВДС в период 1990–1999 гг. отмечаются следующие основные закономерности. Развитие белорусской экономики в этот период характеризовалось последовательным снижением в составе ВДС доли сельского хозяйства с 23,3 до 13,7%, строительства – с 7,9 до 6,5%, а также уменьшением удельного веса промышленности с 38,9 до 31,1% (табл. 3). Эти изменения были вызваны глубоким трансформационным спадом в республике, сопровождавшимся резким падением инвестиций и доходов населения, преобразованием структуры внешнего и внутреннего спроса, гиперинфляцией

Показатель	В текущих ценах			В соп. ценах (1996 г.)		
	1990	1999	Изменение, п.п.	1990	1999	Изменение, п.п.
Производство товаров	70,7	52,5	-18,2	55,1	54,4	-0,7
Промышленность	38,9	31,1	-7,8	31,3	36,8	5,5
Сельское хозяйство	23,3	13,7	-9,6	13,5	11,1	-2,4
Лесное хозяйство	0,3	0,6	0,3	0,5	0,5	0,0
Строительство	7,9	6,5	-1,4	9,4	5,6	-3,8
Прочие виды деятельности по производству товаров	0,3	0,6	0,3	0,4	0,4	0,0
Производство услуг	29,3	47,5	18,2	44,9	45,6	0,7
Транспорт	5,5	11,1	5,6	12,5	9,0	-3,5
Связь	1,0	1,8	0,8	3,9	2,2	-1,7
Торговля и общественное питание	3,5	10,8	7,3	9,0	10,8	1,8
Материально-техническое снабжение и сбыт	0,9	1,5	0,6	0,8	1,3	0,5
Заготовки	0,3	0,3	0,0	0,4	0,2	-0,2
Информационно-вычислительное обслуживание	0,2	0,1	-0,1	0,3	0,1	-0,2
Операции с недвижимым имуществом	0,0	0,5	0,5	0,1	0,4	0,3
Общая коммерческая деятельность по обеспечению функционирования рынка	0,0	0,4	0,4	0,2	0,5	0,3
Геология и разведка недр	0,2	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0
Жилищное хозяйство	2,1	3,1	1,0	2,4	3,6	1,2
Коммунальное хозяйство и непроизводственные виды бытового обслуживания	2,2	1,7	-0,5	1,4	1,4	0,0
Здравоохранение, физкультура и социальное обеспечение	1,9	3,5	1,6	1,9	3,6	1,7
Образование	2,6	4,9	2,3	2,9	4,6	1,7
Культура и искусство	0,6	0,5	-0,1	0,6	0,6	0,0
Наука и научное обслуживание	3,1	0,8	-2,3	0,9	0,5	-0,4
Кредитование, страхование, пенсионное обеспечение	0,4	3,0	2,6	0,9	2,3	1,4
Управление и оборона	4,6	3,3	-1,3	6,5	4,3	-2,2
Общественные объединения	0,2	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0

Таблица 3. Отраслевая структура ВДС в Республике Беларусь в 1990–1999 гг., %

Источник: составлено автором по [12]

и радикальным изменением ценовых пропорций, которые привели к относительному выравниванию цен внутреннего и внешнего рынка, появлению новых производств и отраслей, выбытию неконкурентоспособных секторов и видов деятельности. Освободившиеся ниши заполнялись импортом (его доля в объеме конечного спроса увеличилась с 25% в 1991 г. до 38,3% в 1999 г.), необходимым для товарного насыщения потребительского рынка и ликвидации технологического отставания белорусской экономики от развитых стран. В результате либерализации цен, внешней торговли и хозяйственной деятельности была сформирована облегченная структура экономики, характеризующаяся снижением доли производства товаров и увеличением удельного веса сферы услуг.

Постепенное преодоление кризисных явлений в экономике и стабилизация макроэкономической ситуации способствовали оживлению экономической активности в стране, ускорению развития рыночных видов деятельности – операций с недвижимым имуществом, кредитования и страхования, материально-технического снабжения, коммерческой деятельности по обеспечению функционирования рынка, удельный вес которых в 1990–1999 гг. устойчиво увеличивался и в текущих, и в сопоставимых ценах.

В это же время происходил активный рост доли торговли и общественного питания с 3,5% в 1990 г. до 10,8% в 1999 г., а также финансовых (на 2,6 п.п.) и транспортных услуг (+5,6 п.п.), обслуживающих функционирование промышленного сектора и торговли. С появлением рынка платных услуг и активизацией роста доходов населения в структуре ВДС заметно увеличилась доля образования (+2,3 п.п.) и здравоохранения (+1,6 п.п.).

В отличие от структуры в текущих ценах, для которой характерно снижение доли промышленности в ВДС, ее удельный вес в постоянных ценах демонстрировал тенденцию к увеличению (+5,5 п.п.). Это объясняется стремлением отечественных производителей в условиях возрастающей конкуренции с импортерами к сохранению доли на внутреннем рынке, а также увеличением экспорта промышленной продукции на российский рынок: если в 1995 г. доля белорусских поставок в импорте Российской Федерации составляла 4,7%, то в 1999 г. она возросла до 10,6% [15].

Негативной тенденцией сдвигов в отраслевой структуре экономики в этот период явилось сокращение удельного веса науки и науч-

ного обслуживания (–2,3 п.п. в текущих и –0,4 п.п. в сопоставимых ценах). Это привело к уменьшению доли средне- и высокотехнологичных производств в ВДС обрабатывающей промышленности с 64% в 1990 г. до 55% в 1999 г., и относительному снижению конкурентоспособности – падению ее доли в мировом объеме производства с 0,078% до 0,057% (в сопоставимых ценах). ■

■ **Summary.** The article is devoted to the analysis and assessment of the intensity of sectoral structural shifts in the Belarusian economy for the period from 1990 to 2020. Their key features and specifics are determined, the convergent nature of changes in the sectoral structure of the economy of Belarus and the economies of developed countries is established. The conclusion about the decrease in the intensity of structural changes in the republic is substantiated, which indicates a slowdown in the growth potential of the economy and necessitates the implementation of the state structural policy.

■ **Keywords:** structural shifts, economic growth, sectoral structure, Belarusian economy, intensity of structural shifts, convergence of economic structures.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-44-50>

Продолжение в следующем номере

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Быков А.А. Торговля добавленной стоимостью: источники сбалансированного экономического роста / А.А. Быков, О.Д. Колб, Т.В. Хвалько; под ред. А.А. Быкова. – Минск, 2017.
2. Е.А. Рожковская. Ограничения, риски и возможности экономического роста в Республике Беларусь // Белорусский экономический журнал. 2020. №1. С. 22–40.
3. А.А. Быков, Т.В. Хвалько. Вклад отраслей в сбалансированный рост белорусской экономики // Белорусский экономический журнал. 2017. №2. С. 4–20.
4. А.В. Филиппов. Изменения отраслевой структуры экономики Республики Беларусь // Банковский вестник. 2020. №11. С. 37–49.
5. Lin J.Y. New structural economics: a framework for rethinking development and policy // The World Bank. Washington, D.C. 2012.
6. S. Kuznets. Modern Economic Growth: Findings and Reflection // The American Economic Review. 1973. Vol. 63. №3. P. 247–258.
7. Database of OECD / Organisation for Economic Co-operation and Development // <https://stats.oecd.org/>.
8. Databank of the World Bank / The World Bank // <https://databank.worldbank.org/home.aspx>.
9. В.В. Миронов, Л.Д. Коновалова. О взаимосвязи структурных изменений и экономического роста в мировой экономике и России // Вопросы экономики. 2019. №1. С. 54–78.
10. Ясин Е.Г. Структурные изменения в российской экономике и структурная политика // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики» // Симачев Ю., Акиндинова Н., Яковлев А. и др. [общ. ред. Ясин Е.Г.]. – Москва, 2018.
11. В.В. Пинигин, Е.А. Рожковская. Развитие белорусской экономики в краткосрочном периоде: риски, сценарии, перспективы // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. 2014. №12. С. 67–77.
12. Национальные счета Республики Беларусь. 1990–1999: стат. сб. // Министерство статистики и анализа Респ. Беларусь. – Минск, 2001.
13. Национальные счета Республики Беларусь. 2005–2013: стат. сб. // Национальный стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2015.
14. Национальные счета Республики Беларусь: стат. сб. // Национальный стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2021.
15. Внешняя торговля Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации // <https://rosstat.gov.ru/folder/11193>.

Статья поступила в редакцию 25.04.2022 г.

СУЩНОСТЬ, ФОРМИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМ

УДК 338.1:001.895+316.42+330.342



Ольга Жуковская,
доцент кафедры
инноватики и
предпринимательской
деятельности
Белорусского
государственного
университета, кандидат
экономических наук;
oyzhukovskaya@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены особенности экосистемного подхода к инновационному развитию и сущность национальных инновационных экосистем в контексте V поколения инновационного процесса, а также модель пятикратной спирали инноваций. На основе сравнения позиций Республики Беларусь и других стран по основным показателям, характеризующим среду для инноваций, обозначены направления совершенствования национальной инновационной экосистемы.

Ключевые слова: инновационная экосистема, национальная инновационная система, национальная инновационная экосистема, модель «пятикратной спирали» инноваций, конкурентоспособность, институты.

Для цитирования: Жуковская О. Сущность, формирование и особенности оценки национальных инновационных экосистем // Наука и инновации. 2022. №8. С. 51–56. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-51-56>

В условиях глобализации, углубления международного разделения труда и повсеместного внедрения информационно-коммуникационных технологий концепции национальных инновационных систем не в полной мере отражают состояние инновационной сферы стран и нуждаются в совершенствовании. Производство знаний и инноваций приобрели международный характер, в том числе в результате деятельности

транснациональных и многонациональных компаний, и вышли тем самым за страновые рамки. Сегодня необходимо сотрудничество и взаимодействие различных участников инновационных процессов на наднациональном уровне – сетевой характер инновационного развития становится одной из важнейших современных тенденций.

Междисциплинарный подход к этому феномену привел к появлению концепции экосистем. Дж.Ф. Мур предложил понятие «бизнес-экосистема»,

проведя параллель между биологическими и бизнес-процессами [1] и сформулировав тем самым принципы экологического подхода к управлению, которого придерживаются такие компании, как Apple, IBM, Ford, Walmart, Microsoft, Merck, Huawei и др., и согласно которому бизнес-экосистемы представляют собой межотраслевые сообщества, связывающие различных участников: поставщиков, производителей, конкурентов и др. [1–2].

Инновационные экосистемы (ИЭС) эволюционируют

на основе моделей НИС. Между теми и другими существует ряд принципиальных различий. Инновационные системы в целом регулируются прежде всего мерами инновационной политики. Однако ИЭС являются динамическими структурами и формируются в соответствии с изменяющимися рыночными условиями: так, движущей силой инновационного развития становятся инновационные посредники, частный и общественный спрос на инновации, а также поддерживающая нормативная правовая база, система образования, институциональная среда.

Несмотря на критику ИЭС как придающих особое значение рыночным силам, а также аналогии с природными экосистемами [3], данный под-

ход приобретает все большую популярность и в целом рассматривается как совокупность сложных отношений, которые формируются между субъектами или организациями, обеспечивающими создание инноваций – подчеркивается главным образом функциональное назначение ИЭС. Среди основных характеристик ИЭС выделяются: социальные системы, цифровизация, открытые инновации, дифференцированные роли субъектов, рыночный характер [3].

Можно выделить различные уровни ИЭС, однако особое значение имеют национальные инновационные экосистемы (НИЭС), учитывающие сложные взаимосвязи между различными участниками инновационной эконо-

мики (включая индивидуальных предпринимателей, а также корпоративных участников, таких как крупные предприятия и университеты) и стимулы к созданию благоприятной для инноваций среды [4, 5].

Экосистемный подход предполагает рассмотрение инновационных субъектов различных уровней в качестве живых социальных организмов, подверженных непрерывной изменчивости под влиянием новых мотиваций участников и обстоятельств [5, 6]. ИЭС, в свою очередь, позиционируются как динамичная совокупность организаций, институтов и их внутренних связей, а также включает экономических агентов, их взаимоотношения, инновационную среду, состоящую из идей, технологий, правил игры, соци-

Критерий сравнения	НИС	НИЭС
Характер модели инновационного развития	Линейная	Нелинейная / интерактивная
Важнейшие структурные элементы	Институты	Акторы (действующие субъекты)
Взаимосвязь / взаимодействие элементов	Иерархия	Коллаборация / сотрудничество
Форма организации	Структура	Сеть
Центральная роль в системе	Институты	Среда
Регулирование	Нормативные правовые акты	Доверие
Ключевой механизм генерации знаний	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы Связь между затратами (показатели «входа») и результатами (показатели «выхода»)	Среда, благоприятствующая инновациям Сети поощряют сотрудничество, связь, критическое и творческое мышление, разнообразие взглядов и точек зрения – все это повышает вероятность появления новых идей (с учетом прямых и косвенных сетевых эффектов)
Поколения инновационных процессов	Сопряженная / интерактивная модель (coupling model) – III поколение (3G) инновационного процесса «Интегрированная модель» (integrated model) – IV поколение (4G) инновационного процесса	Модель стратегических сетей (system integration and networking); модели, основанные на интерактивных знаниях и обучении (interactive learning) Открытая модель (open innovation) – V поколение (5G) инновационного процесса
Взаимоотношения участников – основные элементы инновационного развития: «спирали» инноваций	Тройная спираль (Triple Helix): органы государственного управления, бизнес-сообщество, университеты	Четвертная спираль (Quadruple Helix): тройная спираль + гражданское общество (в том числе, негосударственные структуры, медиа, креативные отрасли, культура, ценности); пятикратная спираль (Quintuple Helix): четвертная спираль + природная среда

Таблица 1. Сравнение НИС и НИЭС

Источник: собственная разработка автора

альных взаимодействий и культуры [2]. Ключевыми организационными формами инновационных взаимосвязей выступают кластеры и сетевые структуры [7]. ИЭС зачастую определяются как сети устойчивых связей между людьми и организациями, которые возникают на основе общего видения желаемых преобразований и обеспечивают экономический контекст для стимулирования инноваций и роста, а также как специальная, благоприятная для инноваций среда [8].

В целом ИЭС – это развивающаяся совокупность субъектов, видов деятельности и созданных людьми объектов (артефактов), а также институтов и отношений, взаимодополняющих и замещающих взаимосвязей, которые важны для инновационной деятельности субъекта или группы субъектов. Артефакты включают продукты и услуги, материальные и нематериальные, а также технологические и нетехнологические ресурсы, другие виды системных «входов» и «выходов», в том числе инновации [9].

В целом ИЭС отличается большей сложностью взаимодействий субъектов, акцентом на формирование и развитие среды для инноваций, а также эволюционным характером. Результаты сравнения НИС и НИЭС по важнейшим направлениям представлены в табл. 1.

В целом концепция ИЭС не противоречит, а скорее обогащает и актуализирует теории НИС, а также поколения инновационных процессов и спиральные модели инноваций.

Во-первых, в условиях реализации современных моделей инновационных



Рис. 1. Схема 5G-модели инновационного процесса с учетом экосистемного подхода
Источник: разработка автора по [10]

процессов (V поколение / 5G) особое значение приобретают как взаимосвязи и взаимодействия субъектов (в частности, производителей и потребителей) для совместного создания стоимости, так и среда для инноваций (рис. 1).

Во-вторых, пятикратная спираль инноваций, учитывающая природную среду (рис. 2),

дополняется бизнес-средой, инфраструктурой, социальной, институциональной (в первую очередь неформальными институтами), цифровой и технологической экосистемными составляющими. Так, формирование НИЭС связано с включением большего числа элементов, усложнением и увеличением количества взаимосвязей



Рис. 2. «Пятикратная спираль» инноваций в контексте экосистемного подхода
Источник: разработка автора по [11]

между ними, а также основывается на социально-экологических взаимодействиях.

Итак, НИЭС может определяться как развивающаяся совокупность взаимовыгодных связей между субъектами инновационной деятельности, основанная прежде

всего на наличии благоприятствующей инновациям среды, включающей сетевые взаимодействия, организационно-экономические инструменты, формальные и неформальные институты, доверие и технологии (в первую очередь ИКТ), экологическую составляющую.

Показатель	Оценка
Динамика развития бизнеса (0–100)	
Административные требования (0–100)	
Стоимость открытия бизнеса	% ВВП на душу населения
Время на открытие бизнеса	Количество дней
Ставка восстановления при неплатежеспособности (банкротстве)	Центы к доллару
Законодательство о неплатежеспособности (банкротстве)	Баллы от 0 (худший показатель) до 16 (лучший)
Предпринимательская культура (0–100)	
Отношение к предпринимательскому риску	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Готовность к делегированию полномочий	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Рост инновационных компаний	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Компании, реализующие прорывные идеи	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Способность к инновациям (0–100)	
Взаимодействие и диверсификация (0–100)	
Диверсификация рабочей силы	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Уровень кластерного развития	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Совместные международные изобретения	На 1 млн населения
Многостороннее сотрудничество	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Исследования и разработки (0–100)	
Научные публикации	Балл
Патентные заявки	На 1 млн населения
Расходы на НИОКР	% от ВВП
Известность исследовательских институтов	Баллы от 0 (худший показатель) до 100 (лучший)
Коммерциализация (0–100)	
Требовательность покупателей	Баллы от 1 (худший показатель) до 7 (лучший)
Заявки на регистрацию товарных знаков	На 1 млн населения

Таблица 2. Обзор и оценка показателей субиндекса «Инновационные экосистемы» Индекса глобальной конкурентоспособности 4.0

Источник: разработка автора по [13]

Экосистемное понимание инноваций находит свое отражение и в подходах международных организаций, к примеру Всемирного экономического форума. Технология в современных условиях понимается как концепция, охватывающая не только продукцию (например, машины, оборудование и материалы), но также процессы и организационные методы, направленные на повышение эффективности производства; при этом такое понимание технологий способствует формированию более благоприятной ИЭС [8, 12], поскольку акцент делается на среду, а также организационно-экономические характеристики инноваций.

В Индексе глобальной конкурентоспособности 4.0 (в условиях Четвертой промышленной революции) характеризуются позиции стран по таким субиндексам, как стимулирующие условия, человеческий капитал, рынки и инновационная экосистема [13]; инновационные экосистемы, в свою очередь, оцениваются по комплексу показателей (табл. 2).

Однако субиндексы в Индексе глобальной конкурентоспособности 4.0 не имеют собственных весов и не участвуют в определении интегрального показателя, что обуславливает важность комплексного рассмотрения ИЭС. Результаты по данному субиндексу представлены на рис. 3.

Несмотря на наличие достаточно большого числа показателей для оценки национальных инновационных экосистем (табл. 2), необходимо учитывать прежде всего качественные характеристики среды для инноваций: формальные и неформальные институты,

уровень доверия, особенности субъектов (акторов), бизнес-среду и инновационную инфраструктуру, общий уровень инновационности и др. Так, основные структурные компоненты НИЭС могут быть представлены следующим образом (рис. 4):

Особенности формирования и уровень развития НИЭС можно рассматривать исходя из основных представленных блоков, а также по конкретным областям функционирования. Для общей оценки, а также выявления основных преимуществ и недостатков НИЭС Республики Беларусь может быть использован комплекс показателей, характеризующих среду для инноваций (табл. 3).

В Беларуси существует разрыв между потенциалом и текущими показателями НИЭС, что может быть преодолено, в числе прочего, за счет улучшения среды для инноваций в целом. Среди направлений развития НИЭС выделяется

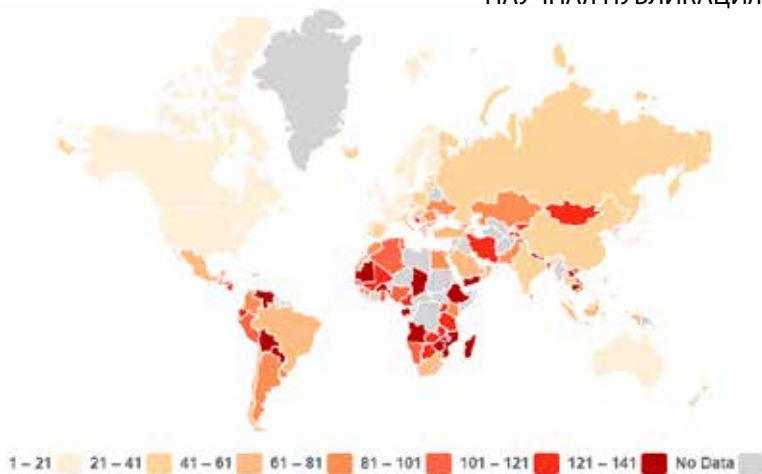


Рис. 3. Страны по субиндексу «Инновационные экосистемы» Индекса глобальной конкурентоспособности 4.0 (2019 г.). Источник: [14]

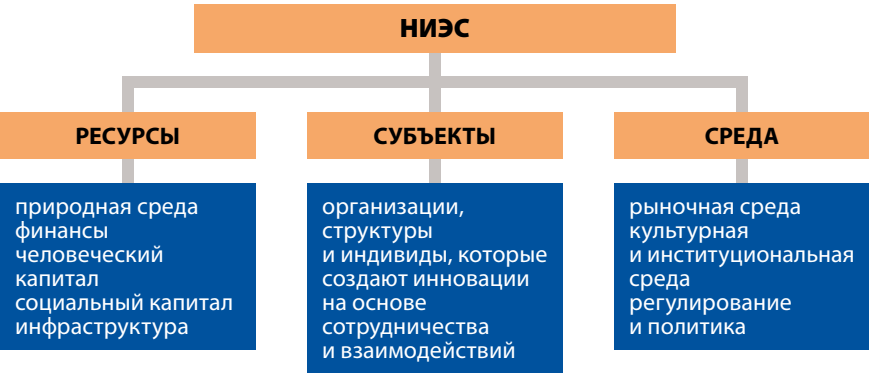


Рис. 4. Основные структурные компоненты НИЭС
Источник: разработка автора по [15]

Показатель	Республика Беларусь	Сравнение позиций Республики Беларусь и других стран	
		Относительно сильная	Относительно слабая
Институты (2021 г.)	85 (из 132 государств)	Бизнес-среда	Политическая и правовая среда
Инфраструктура (2021 г.)	59 (из 132 государств)	ИКТ	Общее развитие инфраструктуры, экологическая устойчивость
Степень развитости рынка (2021 г.)	101 (из 132 государств)	Торговля	Кредиты, инвестиции
Степень развитости предпринимательской среды (2021 г.)	69 (из 132 государств)	Интеллектуальные работники	Инновационные связи, освоение знаний
Верховенство закона (2021 г.)	97 (из 139 государств)	Отсутствие коррупции, порядок и безопасность, гражданское судопроизводство	Ограничение полномочий правительства, открытое правительство, фундаментальные права, нормативное правовое регулирование, уголовное судопроизводство
Ведение бизнеса (2020 г.)	49 (из 190 стран)	Открытие бизнеса, получение разрешений на строительство, обеспеченность электроэнергией, регистрация собственности, международная торговля, обеспечение исполнения контрактов	Получение кредита, уплата налогов, защита миноритарных инвесторов, урегулирование неплатежеспособности

Таблица 3. Сравнительный анализ позиций Республики Беларусь по основным показателям, характеризующим среду для инноваций
Источник: собственная разработка автора на основе [16–18]

сочетание прорывных технологических и социально-институциональных инноваций. Совершенствование среды для нововведений становится особенно актуальным с учетом необходимости преодоления негативных последствий пандемии COVID-19, а также в условиях цифровизации экономики. Среди мероприятий на ближайшую перспективу (1–2 года) можно отметить: содействие распространению знаний и технологий, в том числе способствующих созданию новых фирм и росту занятости, а также венчурной деятельности. В качестве приоритетов для трансформации на среднесрочную перспективу (3–5 лет) обозначим инфраструктурную, институциональную и рыночную среду для инноваций, стимулирование компаний к многопрофильности, гибкости, равноправию и инклюзивности для повышения творческого потенциала.

Итак, НИЭС характеризуют междисциплинарный подход, который все в большей степени соответствует сложности современного инновационного развития, а также необходимости трансформации экономических систем, в том числе после глобальной пандемии, нарушившей взаимосвязи участников инновационных процессов. Инновационные системы рассматриваются уже не столько в страновом, сколько в глобальном масштабе. Формирование благоприятной для инноваций среды позволяет не только повысить уровень инновационности, но и содействует социально-экономическому развитию и росту конкурентоспособности в целом. Таким образом, страна может улучшить свои инновационные

показатели, повысить готовность к дальнейшей цифровой трансформации и устойчивость к неблагоприятным изменениям внешней и внутренней среды,

применяя комплексный, многоуровневый подход с акцентом на взаимосвязи между различными блоками и структурными компонентами НИЭС. ■

■ **Summary.** The features of the ecosystem approach to innovative development and the essence of national innovation ecosystems in the context of the fifth generation of the innovation process, as well as the model of the five-fold innovation spiral are considered. Based on a comparison of the positions of the Republic of Belarus and other countries in terms of the main indicators characterizing the environment for innovation, directions for improving the national innovation ecosystem are outlined.

■ **Keywords:** innovation ecosystem, national innovation system, national innovation ecosystem, quintuple helix innovation model, competitiveness, institutions.

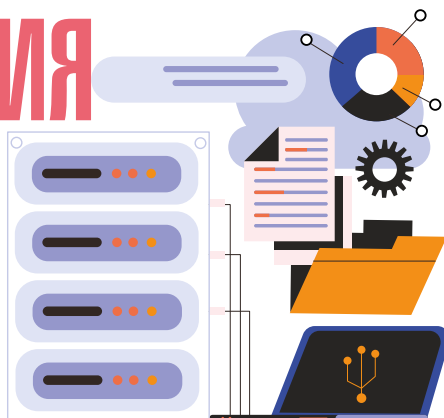
■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-51-56>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. J.F. Moore. Predators and prey: a new ecology of competition / J.F. Moore // Harvard Business Rev. 1993. Vol.71, №3. P. 75–86.
2. B. Mercan. Components of innovation ecosystems: a cross-country study / B. Mercan, D. Goktas // International Research J. of Finance and Economics. 2011. Vol. 76. P. 102–112.
3. Innovation ecosystems: a critical examination / D.-S. Oh [et al.] // Technovation. 2016. Vol, 54. P. 1–6.
4. C.W. Wessner. Entrepreneurship and the innovation ecosystem policy lessons from the United States: Local heroes in the global village: Globalization and the new entrepreneurship policies / C.W. Wessner // International Studies in Entrepreneurship. 2005. Vol.7. P. 67–89.
5. Жуковская О.Ю. Сетевые взаимодействия в инновационной экономике / О.Ю. Жуковская // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития: материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 21–22 окт. 2021 г.). В 3 т. Т. 3 / Редкол.: Н.Г. Берченко [и др.]. – Минск, 2021. С. 29–30.
6. Н.В. Смородинская. Сетевые инновационные экосистемы и их роль в динамизации экономического роста // Инновации. 2014. №7 (189). С. 27–33.
7. И.В. Шевченко. Глобальные инновационные сети в постиндустриальной экономике: открытость и научное сотрудничество / И.В. Шевченко, О.А. Салмина // Инновации и инвестиции. 2011. №47 (479). С. 10–18.
8. Innovation ecosystems vs. innovation systems in terms of collaboration and co-creation of value / N. Smorodinskaya [et al.] // Proceedings of the 50th Hawaii international conference on system sciences. 2017. P. 5245–5254.
9. O. Granstrand. Innovation ecosystems: a conceptual review and a new definition / O. Granstrand, M. Holgersson // Technovation. 2020. Vol. 90–91. P. 1–12.
10. Potts J. Nudging innovation: fifth generation innovation, behavioural constraints, and the role of creative business – considerations for the NESTA innovation vouchers pilot / J. Potts, K. Morrison // https://media.nesta.org.uk/documents/nudging_innovation.pdf.
11. E.G. Carayannis. Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and how do knowledge, innovation, and environment relate to each other? / E.G. Carayannis, D.F.J. Campbell // Intern. J. of Social Ecology a. Sustainable Development. 2010. Vol. 1. №1. P. 41–69.
12. Schwab K. The global competitiveness report 2015–2016 / K. Schwab / World Economic Forum // https://www3.weforum.org/docs/gcr/2015–2016/Global_Competitiveness_Report_2015–2016.pdf.
13. Schwab K. The global competitiveness report 2019 / K. Schwab / World Economic Forum // https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf.
14. GCI 4.0: Innovation ecosystem component / TCdata360 / World Bank // <https://tcdata360.worldbank.org/indicators/h89dd1c2f?indicator=41740&viz=choropleth&years=2019&indicators=944>.
15. Hoffecker E. Understanding innovation ecosystems: a framework for joint analysis and action // https://d-lab.mit.edu/sites/default/files/inline-files/Understanding_Innovation_Ecosystems_FINAL_JULY2019.pdf.
16. The global innovation index 2021: tracking innovation through the COVID-19 crisis / World Intellectual Property Organisation // https://www.wipo.int/eodocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf.
17. Rule of law index 2021 / World Justice Project // <https://worldjusticeproject.org/sites/default/files/documents/WJP-INDEX-21.pdf>.
18. Ease of doing business in Belarus / World Bank // <https://archive.doingbusiness.org/en/data/exploreconomies/belarus>.

Статья поступила в редакцию 08.06.2022 г.

НОВАЯ НОРМА ОБРАЗОВАНИЯ



Обработка и анализ больших массивов данных стали по-настоящему революционным прорывом, серьезно повлиявшим на многие отрасли экономики, в том числе и на образование. Появление многочисленных обучающих информационных систем и технологий позволило этой сфере получать огромный объем информации, касающейся процессов обучения, поведения и успеваемости, и, соответственно, интерпретировать и анализировать ее. Возникло множество видов учебной аналитики: предиктивная, поведенческая, визуальная, диагностическая, описательная, операционная, с помощью которых можно не только автоматизировать многие рутинные процедуры, но и определять существующие проблемы, а также своевременно их упреждать.

Парадигма Data Driven

Аналитика данных считается одним из ключевых факторов успеха деятельности, причем наметился переход от традиционной описательной ее формы к новому подходу Data Driven Decision Making – аналитике для принятия решений, или информационно обоснованному решению. Стоит отметить, что и до внедрения цифровых технологий компании всегда накапливали различные сведения

в виде финансовой, административной, бухгалтерской и другой отчетности, с тем чтобы на их основе совершенствовать свою работу. В сфере образования это были анкетирование и опросы, которые чаще всего становились вспомогательным инструментом для принятия решений, основанных на субъективных суждениях преподавателей, методистов, заказчиков обучения и т.д. Как правило, эта информация отличалась фрагментарностью и ограниченно-

стью, поэтому об эффективном реформировании образовательной системы на ее базе говорить не приходилось. Концепция Data Driven исправила этот пробел, позволив непрерывно агрегировать данные о результатах обучения, поведении слушателей, их взаимодействии с контентом и на этой основе строить и проверять гипотезы, оптимизировать процессы, а впоследствии автоматизировать принятие решений. Существует определенная иерархия уровней анализа данных, на которых решаются различные задачи (рисунок).

На уровне оптимизации происходит трансформационный переход от предиктивной аналитики к предписывающей – тому ее виду, который позволяет компании совершать действия, полностью основанные на данных.

В целом субъекты хозяйствования, взявшие на вооружение парадигму Data Driven, руководствуются несколькими базовыми принципами, как то: тестирование гипотез, эксперименты; режим непрерывного улучшения, итерационной оптимизации; предсказательное моделирование; взвешенный выбор между альтернативными вариантами на основе значимых в конкретной ситуации переменных [2]. По мнению директора по аналитике американской компании Warby Parker Карла Андерсона, в организации во главу угла должны быть поставлены не столько определенные инструменты, ресурсы и инфраструктура, сколько формирование особой культуры, направленной на убеждение сотрудников в необходимости информированных решений на основе данных. К тому же следует интегрировать

в процессы деятельности фирмы цифровые персонализированные системы, использовать данные при расчете тактических и долгосрочных задач, разработать стратегию управления и удобную систему для взаимодействия с ними. Как отмечают многие авторитетные эксперты, истинные изменения начинаются с людей и процессов, а не с технологий. Поэтому концептуальной основой Data Driven выступает коммуникация между всеми участниками, заинтересованными в поиске закономерностей и принятии верного решения, где каждый осознает свою ценность и вклад в общий успех [1].

С точки зрения лидеров бизнеса, использование этого подхода в образовании позволяет направить силу аналитики для генерации и проверки прорывных идей и предпринимать действия, соответствующие стратегическим целям организации. Все игроки на этом поле получают значительные преимущества: ответствен-

ные за обучение – платформу для расстановки приоритетов, принятия решения и эффективного распределения ресурсов; методисты – базу для оптимизации программы; обучающиеся – наиболее эффективный образовательный опыт.

Разновидности и выбор метрик в образовании

Объективным индикатором успешности подхода Data Driven служат метрики – качественные или количественные показатели, отражающие характеристики изучаемого параметра. По их изменениям проверяется состоятельность гипотез. Поскольку современные платформы позволяют собирать большое количество данных о действиях пользователей, арсенал учебной аналитики поистине безграничен. Обычно изменения в обучающей программе проводятся для повышения уровня образования (помогает ли материал получить новые навыки, сменить специальность и т.д., соот-

ветствует ли он уровню подготовки обучающегося); для оптимизации учебного кейса (как достигаются учебные цели, какие разделы следует доработать); для повышения эффективности организации процесса (окупаются ли ресурсы, вложенные в программу).

Для того чтобы выбрать необходимые источники данных и показатели, изменения которых будут оцениваться, нужно установить цели оптимизации обучающей программы. Их достижение соотносится с определенными метриками, которые подразделяются на несколько категорий.

Метрики вовлеченности и активности слушателей отражают параметры взаимодействия обучающихся с образовательным контентом и представляют собой описательный уровень анализа: статистику и логи сайта/платформы (IP, местоположение); количество зачисленных слушателей, выполненных заданий, длительность просмотров видеороликов и сессий. С помощью этой метрики можно получить «цифровой эскиз» образовательного продукта, составить о нем первичное представление и ответить на вопросы: какая аудитория собралась для обучения, в каком контексте оно происходит и т.д.

Метрики эффективности обучения служат для оценки качества учебного материала, квалификации преподавателей и уровня подготовки слушателей. В свою очередь эти метрики подразделяются на следующие подкасты:

- индекс лояльности слушателей (NPS), который рассчитывается как разница между долями сторонников



Рисунок. Уровни аналитики данных и интеллектуального анализа

и критиков курса в результате опроса обучающихся;

- индекс удовлетворенности слушателей (CSI), дающий представление о наиболее сильных и слабых элементах программы;
- уровень прохождения (COR), демонстрирующий процент завершивших образовательный процесс от числа зачисленных;
- показатель оттока (CR), отражающий количество слушателей, отказавшихся от обучения в течение определенного периода времени.

С помощью упомянутых метрик дается оценка отдельных компонентов программы, ее наиболее трудных элементов и заинтересованности слушателей в окончании курса.

Метрики сопровождения процесса обучения очень важны для оптимизации программы и измеряют процент трудоустроенных после завершения обучения, скорость и качество обратной связи по проектам, оценку активности в учебных чатах. На их базе оценивается эффективность взаимодействия между слушателями и командой образовательной программы, возможность новых форматов коммуникации.

Метрики эффективности образовательного продукта предназначены для многосторонней его оценки и включают в себя многие упомянутые индикаторы, призванные ответить на весьма важные вопросы: какова реакция слушателей на образовательный продукт; получили ли они планируемые знания и навыки; применяют ли они их в жизни и работе; насколько полезно обучение для компании и др.

Сбор и интерпретация данных

Стратегия Data Driven способна совместить цели обучающей программы с эффективностью бизнеса и запросами слушателей, оценить состояние образовательной системы, запланировать желаемые результаты и необходимые изменения. Для генерации и проверки гипотез следует подобрать соответствующие метрики и определиться с источниками информации. Для ее оценки широко используются два метода: учебная аналитика и интеллектуальный анализ образовательных данных (EDM). Первый заключается в измерении и сборе сведений об обучающихся и образовательной среде для понимания особенностей процесса и максимальной его оптимизации; второй представляет собой спектр методов исследования данных и поиска в них скрытых закономерностей, используемых с целью принятия решений в данной сфере. Оба этих метода способствуют выявлению взаимосвязей в массиве информации и скрытых знаний, которые при грамотном подходе помогают усовершенствовать обучение. Основное различие между образовательной аналитикой и интеллектуальным анализом образовательных данных состоит в том, что в первом случае полезные находки генерирует специалист, а во втором многие инновационные решения являются порождением автоматизированных алгоритмов. Можно выделить несколько категорий данных, которые обычно используются для учебной аналитики (табл. 1).

Административные данные

Информация о преподавателе, методисте, наличии и опциях поддержки, опыте автора, тематике программы или курса и т.д.

Предпочитаемые обучающие медиа или жанры

Ретроспективные показатели предпочтительных для обучающегося медиа или жанров в тех случаях, когда выбор был возможен, например длительность видео, дослушиваемость подкаста, дочитываемость лонгрида и т.д.

Взаимодействие с образовательными ресурсами

Показатели взаимодействия во время обучения, в том числе манера навигации, ответы на упражнения и тесты, количество попыток, типы совершаемых ошибок, временные характеристики, связанные с деятельностью студента во время обучающих мероприятий.

Прошлая деятельность

Ретроспективные показатели прошлой деятельности обучающегося, раскрывающие усвоение идей, навыков или компетенций на текущий момент.

Временная история

Показатели ближайшего контекста, представляющие временную историю действий обучающегося, данные о которой доступны в конкретный день.

Социальные показатели

Показатель взаимодействия учащегося с другими обучающимися и преподавателем в процессе обучения или с записанной речью (со всеми ее разнообразными свойствами, например семантическим содержанием, просодией и т.д.).

Демографическая информация

Показатели периферийного контекста: регион, возраст, пол, уровень подготовки и т.д.

Социальные связи

Показатели ближайшего окружения: количество связей, их сила и активность.

Тип мышления

Данные из анкеты или самоотчета о том, как учащийся устанавливает связь между своими стратегическими усилиями во время обучения и развитием компетенций, а также о том, как происходит индивидуальный процесс обучения.

Эмоциональное состояние

Психофизиологические показатели, относящиеся к обучению, например эмоциональное состояние, качество сна, показатели питания.

Таблица 1. Категории данных

Метод	Цель	Применение
Интеллектуальный анализ причинно-следственных связей	Выявить причинно-следственные связи	Понять, какие черты поведения слушателей приводят к обучению, неуспеваемости, отказу от обучения и т.д.
Кластеризация	Выявить группы с похожими свойствами	Объединить учебный материал или слушателей в группы, основываясь на найденных паттернах
Поиск и выявление взаимосвязей при помощи моделей машинного обучения	Использовать существующую модель в качестве компонента для текущего анализа	Выявить взаимосвязи между характеристиками слушателей или контекстуальными переменными и их поведением. Внедрить психометрические фреймворки в модель машинного обучения
Дистилляция данных (очистка данных для оценки человеком)	Представить данные в виде, пригодном для визуализации и взаимодействия с ними	Предоставить методистам данные, по которым удобно отслеживать и анализировать активность слушателей и их продвижение по программе
Отслеживание знаний	Оценить овладение знаниями при помощи логов ответов слушателей на задания и когнитивной модели, в которой построены взаимосвязи между заданиями и навыками, которые требуются для их решения	Отследить динамику прогресса
Неотрицательное матричное разложение	На основе оценок слушателей за тестовые задания создать матрицу положительных чисел, которая затем декомпозируется на две матрицы с заданиями и навыками для упрощения анализа	Оценить навыки слушателей
Выявление выбросов	Выявить нетипичных слушателей	Определить, какие слушатели не успевают за темпом программы или, наоборот, значительно опережают ее
Методы прогнозирования	Сделать умозаключение о целевой переменной исходя из комбинаций других переменных при помощи классификации, регрессии, оценки плотности и других методов	Спрогнозировать прогресс слушателя и определить его модель поведения
Интеллектуальный анализ процессов	Определить процесс на основе логов событий	Построить умозаключения о поведении студентов
Рекомендации	Предсказать, насколько предпочтительным для слушателя будет являться тот или иной компонент	Дать рекомендации студентам на основе их предыдущей зарегистрированной активности в программе
Интеллектуальный анализ взаимосвязей	Изучить взаимосвязи между переменными и выявить закономерности при помощи методов поиска ассоциативных правил, корреляционного анализа, интеллектуального анализа причинно-следственных связей	Выявить взаимосвязи между поведенческими паттернами слушателей и трудностями, которые они испытывают при обучении
Статистические методы	Описать происходящее и сделать выводы при помощи математической статистики	Проанализировать, проинтерпретировать и сделать выводы из данных учебной аналитики
Анализ социальных сетей	Проанализировать социальные взаимосвязи между элементами сети	Изучить структуру и взаимосвязи в групповой деятельности, а также взаимодействие слушателей в учебном чате
Интеллектуальный анализ текста	Извлечение данных из текстовой информации	Проанализировать содержимое чатов, домашних заданий и другого текстового цифрового следа слушателей
Визуализация	Отобразить данные в графическом виде	Представить данные в визуальном понятном виде

Таблица 2. Методы анализа данных в образовании

Следует отметить, что приведенный в таблице перечень не исчерпывающий, поскольку список источников данных адаптируется под цели и потребности конкретной организации. В современном образовании задействовано много технологий и платформ. Это система управления обучением (LMS), в частности Moodle, Canvas, iSpring, open EdX и т.д.; платформа опыта обучения, или агрегаторы образовательных проектов (LXP) – Degreed, EdCast; система управления корпоративным обучением (TMS), например ТренингСпейс; сервисы видеоконференций – Zoom, Skype, MS Teams; платформы проведения вебинаров; сервисы для проведения опросов; курсы, созданные через конструкторы, VR- и AR-платформы и др.

Для преобразования данных, полученных из них, в полезную информацию и принятия на ее основе наиболее оптимальных решений относительно образовательного процесса существуют определенные методы (табл. 2).

Таким образом, новый Data Driven подход дает возможность не только создать портрет учащегося, но и разработать точные модели поведения, выявить его слабые и сильные стороны, установить закономерности, характеризующие процесс обучения, и получить инсайты, способные значительно улучшить образовательную среду. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аналитика обучения: о чем молчат данные // https://sberuniversity.ru/upload/iblock/1f9/Edu_Tech_46_web_demo.pdf.
2. Creating a Data-Driven Organization // <https://oracle-patches.com/libr/book/is/creating-a-data-driven-organization>.
3. Educational data mining and learning analytics: An updated survey // <https://bookdown.org/chen/la-manual/files/Romero%20and%20Ventura%20-%202020.pdf>.

Ирина ЕМЕЛЬЯНОВИЧ

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ 4.0 — ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСА МАШИН



Николай Ишин,
начальник научно-технического
центра «Карьерная техника»
Объединенного института
машиностроения НАН Беларуси,
доктор технических наук, доцент



Владимир Адашкевич,
заведующий отраслевой
лабораторией по исследованиям,
проектированию и испытаниям
электромобилей и базовых
компонентов электропривода
Объединенного института
машиностроения НАН Беларуси



Аркадий Гоман,
начальник отдела динамического
анализа и вибродиагностики
машин Объединенного института
машиностроения НАН Беларуси,
кандидат технических наук, доцент



Андрей Скороходов,
ведущий научный сотрудник
Объединенного института
машиностроения НАН Беларуси,
кандидат технических наук

На протяжении многих лет вибрационный анализ является основным методом, используемым для диагностики и мониторинга технического состояния вращающихся узлов машин. Они, как правило, оснащены множеством датчиков, однако их показатели сами по себе ничего не дают — результат появляется, когда обработанная информация объединяется с данными управления сервисом. Если добавить еще финансовые затраты, то можно спрогнозировать расходы на будущие работы по техническому обслуживанию ТСИ [1].

Концепция «Мониторинг состояния 4.0» в практике диагностики

Концепция Индустрии 4.0 оказала глубокое влияние на практику вибродиагностики, и промышленность быстро включила ее принципы в разработку стратегии Мониторинга состояния 4.0 [2]. Его ключевое преимущество — повышение качественного уровня мониторинга и надежности ТСИ за счет имеющихся ресурсов. Внедрение таких новшеств, как интеллектуальные беспроводные

датчики и автоматический анализ данных в сочетании с веб-интерфейсами, позволяет значительно повысить эффективность работы СМС. Новые инструменты интуитивно понятны и могут одновременно взаимодействовать с несколькими системами и терминалами. Таким образом, получение точных данных и упрощение их обработки – это два критических требования Мониторинга состояния 4.0.

Наибольшую отдачу от инвестиций в данную систему можно ожидать в сложных, трудоемких производствах, где самый незначительный отказ может обернуться немалыми финансовыми потерями, а получаемый экономический эффект от внедрения зачастую превышает стоимость оборудования и его обслуживания. К примеру, в горнодобывающей промышленности основное внимание уделяется диагностированию трансмиссий дорогостоящей карьерной техники – большегрузных самосвалов, экскаваторов, бульдозеров, простои которых связаны с большими экономическими потерями добывающих предприятий (например, 1 час неработающего электрического экскаватора канатного типа обходится в десятки тысяч долларов) [3].

В последнее время производители интегрируют вибродиагностику в системы контроля, и вибросигналы теперь – часть машинных данных оборудования. Вибросистемы IFM, SKF, Montronix и др. поддерживаются в DPA (Developers Permit Agreements – программном обеспечении мониторинга в реальном масштабе времени) штатными функциями [4]. Несмотря на разные аппаратные характе-

ристики, любая система получает исходную информацию, необходимую для контроля и диагностики с оперативным поиском, локализацией, оценкой величины и прогнозированием развития дефектов по диагностическим моделям типовых кинематических узлов.

Индустрия 4.0 в горнодобывающей промышленности

Индустрия 4.0 уже широко распространена в отраслях, оборудование которых дорого как в приобретении, так и в обслуживании. Производители оснащают его большим количеством датчиков (у некоторых поставщиков их по умолчанию установлено более 100), однако при оценке состояния машин реально учитываются показания только порядка 5% из них. Еще меньше информации используется при прогнозе необходимости планово-предупредительных ремонтов, причем разработчики ссылаются на отсутствие надежной системы сбора и обработки данных.

Компания DMT постоянно отмечает важность эффективного внедрения решений Индустрии 4.0 в своих проектах для горнодобывающей отрасли по всему миру. Они касаются всех процессов – от оптимизации текущих расходов до построения тотальной системы управления качеством продукции и автоматической настройки производственных процессов в соответствии с результатами контроля. Основная задача, которую ставит для себя DMT, – интегрирование решения в струк-

туру послепродажного обслуживания, получение актуальной информации о состоянии машин, износе деталей и поломках и на этой основе своевременные контакты с потребителями карьерной техники.

Корпорация Komatsu разработала систему Komtrax, которая использует сеть спутников на земной орбите для передачи информации с самосвала на компьютер диспетчера. Компания Liebherr создала диагностическую систему Litronic Puls, которая включает мониторинг в реальном времени, обнаружение неисправностей и предупреждение о них, а также ряд методов обработки данных и получения трендов состояния узлов карьерного самосвала. Параметры и методы диагностирования не разглашаются. Зарубежные компании предлагают следующие системы диагностирования и мониторинга: Wenco – систему Eventing Systems, Modular Mining Systems (американская дочерняя компания Komatsu) – систему MineCare, Matrikon – систему Mobile Equipment Monitor и т.п. Однако стоимость названных зарубежных систем составляет, как правило, сотни тысяч долларов.

Сегодня в горнодобывающей промышленности активно внедряются информационно-управляющие комплексы «интеллектуальный карьер» [5]. Они существенно упрощают управление техническим обслуживанием, ремонтом и материально-техническим обеспечением, планирование оптимальных вариантов использования карьерной техники и ведение электронного эксплуатационного документооборота. В итоге все это обеспечивает накопление и системати-

зацию опыта по поиску и устранению неисправностей машин, а также принятия решений об их эксплуатации. Дальнейшее развитие системы «интеллектуальный карьер» предполагает наличие постоянно поступающих в информационно-управляющий комплекс данных о текущем техническом состоянии наиболее ответственных узлов машин работающей техники.

Их могут предоставлять установленные на машинах и работающие в автоматическом режиме диагностические комплексы, например созданная Объединенным институтом машиностроения (ОИМ) НАН Беларуси совместно с ОАО «БЕЛАЗ» бортовая система автоматизированной вибродиагностики зубчатых передач редукторов мотор-колес (РМК) карьерных самосвалов БЕЛАЗ (рис. 1) [6]. Назначение системы – предотвращение аварийного выхода из строя РМК в процессе эксплуатации самосвала.

Бортовая система диагностики

Базовыми в системе вибродиагностики редуктора мотор-колес выступают два основных компонента: аппаратурно-программная часть – с алгоритмами съема, обработки и анализа измерительной информации и последующей выдачей диагностических решений о техническом состоянии объекта, а также сам объект с показателями технического состояния (хорошее, допустимое, недопустимое). На этой основе строится соответствующая система распознавания неисправностей, свя-

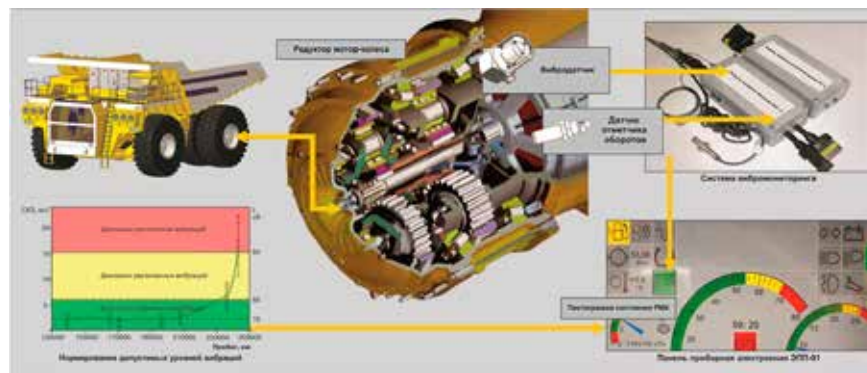


Рис. 1. Система бортовой вибродиагностики редукторов мотор-колес самосвалов БЕЛАЗ. Источник: [6]

зывающая измеренные вибрационные параметры с конкретными неисправностями РМК.

Принцип работы системы основан на том, что параметры ударных импульсов, возникающих при пересопряжении зубьев зубчатых колес, определяют величину внутренней динамической составляющей нагрузки в зацеплении, которая коррелирует с виброактивностью зубчатой передачи. В свою очередь, параметры ударных импульсов определяются геометрическими погрешностями зубчатых колес, инерционно-жесткостными характеристиками, нагрузочно-скоростными режимами их работы, эксплуатационными неисправностями – то есть, данные показатели отражают взаимосвязи между техническим состоянием, динамической нагруженностью и виброактивностью зубчатых механизмов, определяются степенью развития и локализации дефекта. Поэтому параметры вибрации (амплитуды гармонических составляющих, среднее квадратическое значение (СКЗ), пик-фактор, дискриминанты) могут служить достоверными диагностическими критериями оценки технического состояния зубчатых механизмов.

Прикладное программное обеспечение (ПО) бортовой системы вибромониторинга обеспечивает функционирование модулей микропроцессорной системы, управляет работой устройства ввода аналоговых и дискретных сигналов, процессом аналого-цифрового преобразования вибросигнала, реализует алгоритмы диагностирования, вычисление значений критериальных параметров, сравнение текущих значений с предельно допустимыми, постановку диагноза с информированием водителя о состоянии РМК, формирует исходные данные и результаты диагностирования в файлы для их хранения в памяти бортовой системы для более глубокого анализа в случае необходимости [7]. Особенность алгоритмов диагностирования РМК – постоянный учет рабочих режимов редуктора по крутящему моменту и скорости движения самосвала с их привязкой к текущим вибрационным параметрам механизма. ПО также создает пользовательский интерфейс ПЭВМ для предварительного программирования бортовой системы вибромониторинга перед установкой ее на борт самосвала (введение

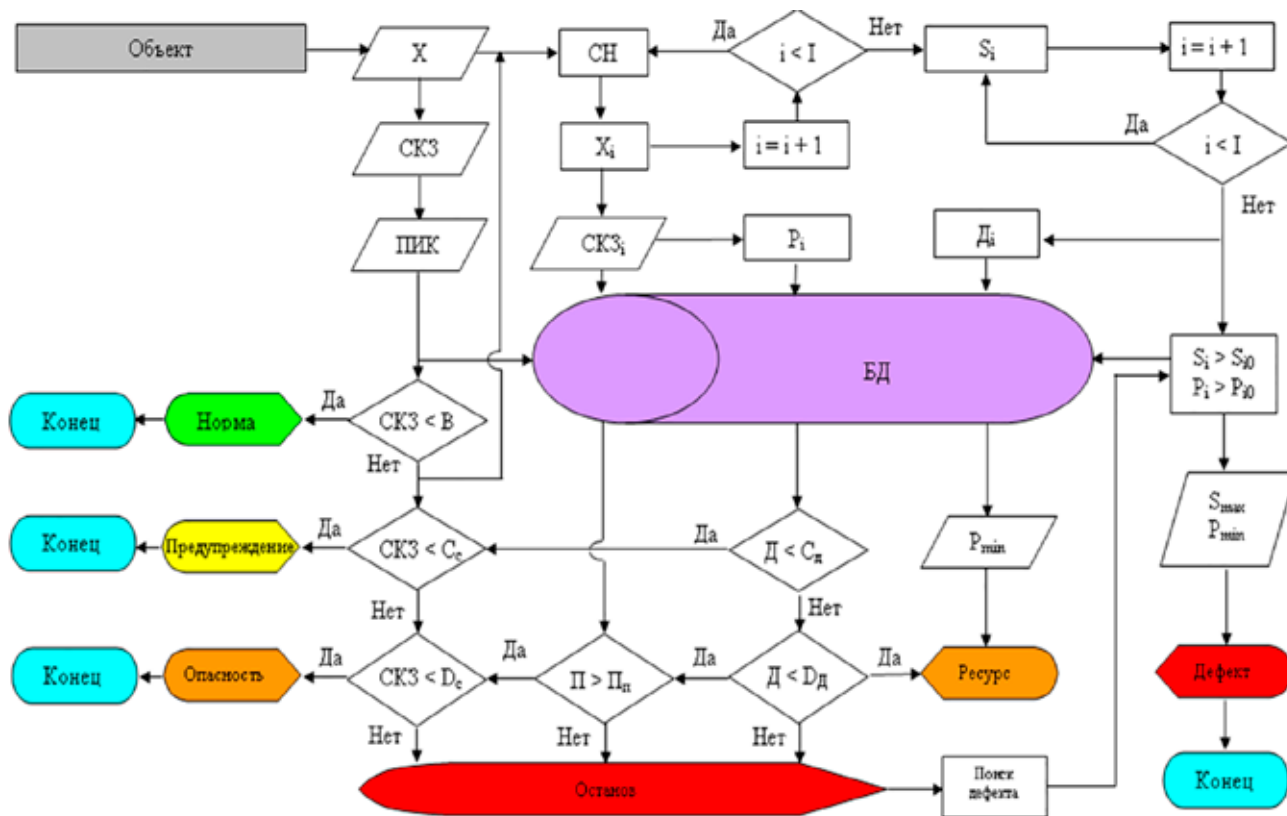


Рис. 2. Алгоритм диагностирования РМК. Источник: [7]

X – текущий вибросигнал; l – количество зубчатых пар; Xi – вибрация i-й зубчатой пары; Si – спектр i-той зубчатой пары; Si0 – маска спектра i-й зубчатой пары; П – ПИК-фактор; СКЗ – среднее квадратическое значение; Д – дискриминант; СКЗi, Ди – СКЗ и дискриминант i-й зубчатой пары; Pi – текущий ресурс i-й зубчатой пары; Pi0 – плановый ресурс i-й зубчатой пары; Пп – значение предыдущего замера ПИК-фактора; ВС – граница зоны Вс для СКЗ; Сс, СД – границы зоны С для СКЗ и дискриминанта; DC, DD – границы зоны D для СКЗ и дискриминанта; БД – база данных; СН – синхронное накопление

коэффициентов преобразования датчиков, создание файлов калибровочных коэффициентов, введение маски предельных значений и др.).

В общем виде алгоритм диагностирования РМК (рис. 2) следующий.

1. Записывается текущий вибросигнал – X ; вычисляются СКЗ – среднее квадратическое значение и П – ПИК-фактор.

2. СКЗ сравнивается с граничным значением области нормальной эксплуатации В. Если $СКЗ < В$, то на мониторе у водителя высвечивается сообщение о нормальной эксплуатации, и программа заканчивает работу до следующего замера.

3. Если $СКЗ > V$, то СКЗ сравнивается с граничным значением области ограниченной эксплуатации C , и программа начинает обработку сигнала по алгоритму синхронного накопления. Определяются вибросигналы каждого из валов редуктора X_i , их спектры S_i , значения СКЗ вибрации и дискриминанты D .

4. Если СКЗ редуктора и дискриминанты валов ниже своих границ области С, то на мониторе у водителя высвечивается предупреждение, и программа заканчивает свою работу до следующего замера; если этот показатель выше, то СКЗ сравнивается с граничным значением опасной области D, и про-

грамма продолжает обработку сигнала. Определяются СКЗ вибрации отдельных валов, рассчитывается ресурс находящихся на них зубчатых колес.

5. При общем СКЗ редуктора и дискриминанты валов ниже соответствующих границ области D и увеличении ПИК-фактора появится предупреждение об ограниченной эксплуатации и предполагаемый ресурс элемента редуктора, имеющий наименьшее значение, и программа заканчивает свою работу до следующего замера.

6. Если общий СКЗ редуктора и дискриминанты валов выше границы области D, а ПИК-фактор начинает уменьшаться,

то рекомендуется остановиться на ремонт, программа продолжает обработку сигнала.

7. Спектры отдельных валов Si сравниваются с Si0 – соответствующими масками, рассчитываемый ресурс зубчатых колес сравнивается с базовым, и выносится заключение о наиболее вероятных неисправностях редуктора.

В процессе эксплуатации система периодически опрашивает датчики, установленные на бортовых редукторах, автоматически обрабатывает диагностическую информацию, оценивает техническое состояние каждой зубчатой передачи редуктора и своевременно информирует об этом оператора (водителя) индикацией соответствующего светового сигнала:

- *вибрационные параметры находятся в пределах допустимых значений (эксплуатация без ограничений) – зеленый цвет;*
- *вибрационные параметры редуктора периодически выходят за пределы допустимых значений – желтый цвет. При этом эксплуатация машины продолжается, ремонтная служба посредством ПО верхнего уровня диагностики проводит углубленный анализ вибраций РМК с определением дефектного элемента и прогнозом его остаточного ресурса. При плановом техническом обслуживании проводится вскрытие редуктора, оценивается возможность устранения причин повышенной вибрации (регулировка, затяжка соединений, долив масла и др.) и принимается решение о проведении ремонта или дальнейшей эксплуатации самосвала;*

- *вибрационные параметры РМК превышают допустимые значения – красный цвет. При этом немедленно прекращается работа самосвала во избежание аварийного выхода РМК из строя, машина должна направляться в ремонт.*

Программное обеспечение верхнего уровня «Вибро-2» устанавливается на ПЭВМ диспетчерской службы карьера и предназначено для анализа и углубленной диагностики РМК по файлам данных, накопленных бортовой системой вибромониторинга за определенный период эксплуатации самосвала. В алгоритмах диагностирования используются современные методики анализа вибрационных процессов мобильных машин. Применение модуля синхронного усреднения диагностической информации позволяет автоматически фильтровать данные о вибрации за один оборот вала, получая информацию о каждом зубчатом колесе в отдельности. Взаимодействие с оператором осуществляется в диа-

логовом режиме работы на русском языке посредством оконного интерфейса.

Созданная система вибромониторинга РМК была аттестована в БелГИМ, прошла двухлетнюю апробацию на самосвалах БЕЛАЗ в карьере Полтавского горно-обогатительного комбината, по результатам которой были устранены основные обнаруженные неполадки в аппаратной части и программном обеспечении.

Беспроводная передача данных как одно из условий внедрения Индустрии 4.0

Вместе с тем опыт карьерной эксплуатации системы вибромониторинга показал, что для ее широкого внедрения необходимо минимизировать участие человека в процессах съема и передачи заинтересованным структурам диагностической информации о состоянии РМК карьерных самосвалов. С этой целью в 2020–2021 гг. была проведена доработка

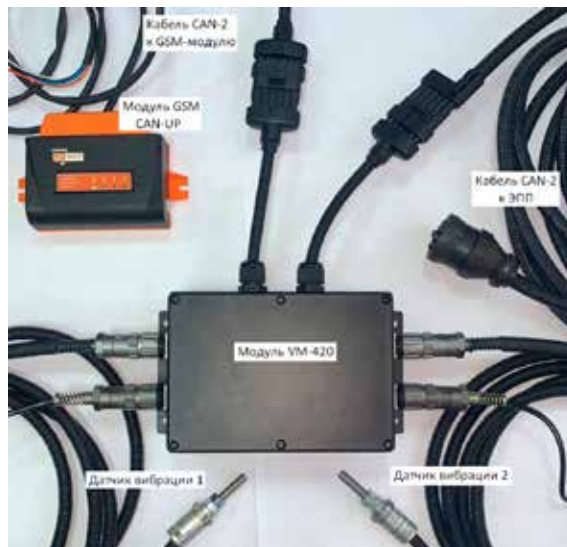


Рис. 3. Система вибромониторинга СВМ-РМК-420 с беспроводной передачей данных
Источник: [8]

и апробация бортовой системы в части обеспечения автоматизированной беспроводной передачи диагностических данных посредством сетей GSM.

Созданная система вибромониторинга СВМ-РМК-420 (рис. 3) [8] позволяет решать следующие основные задачи

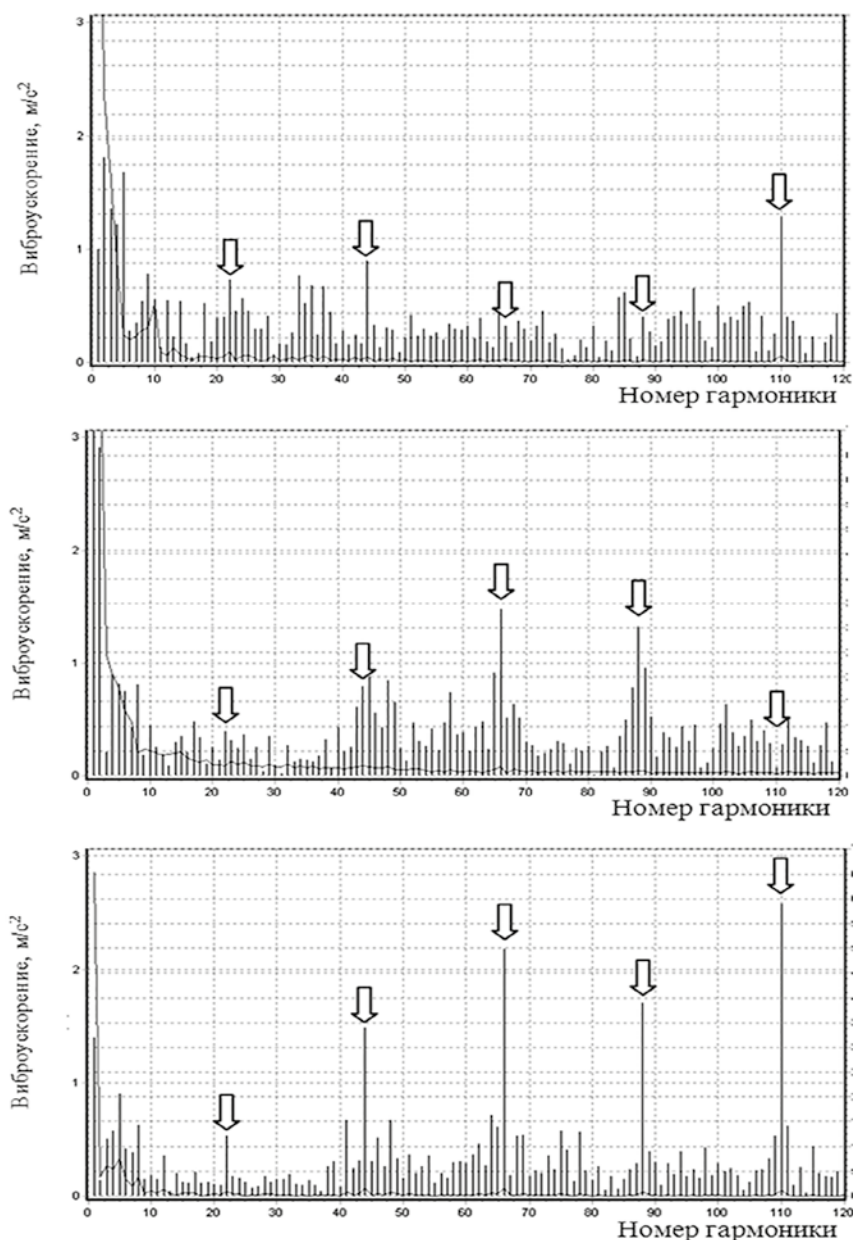
по обеспечению контроля и диагностики технического состояния редукторов мотор-колес самосвала БЕЛАЗ:

- регистрация и хранение в энергонезависимой памяти параметров вибрации обоих РМК самосвала, необходимых для оценки их технического

состояния в течение заданного интервала времени;

- ведение на борту машины оперативного контроля общего технического состояния РМК по граничным значениям параметров вибрации в процессе технологического цикла в карьере, индикация критических состояний РМК и визуализация на панели приборов основных критериевых значений вибрации;
- формирование пакетов данных вибромониторинга РМК за заданный промежуток времени и передача их по CAN-интерфейсу в модуль GSM по соответствующему протоколу, а также в Интернет;
- организация приема данных и передача служебной информации на сервер (компьютер со специальным программным обеспечением);
- сбор, сортировка и обработка данных вибросостояния РМК, собранных в течение заданного цикла (например, за межсервисный интервал работы) от различных машин;
- формирование на сервере баз данных вибромониторинга РМК по ряду машин, ранжирование этих данных по заданным критериям, построение трендов вибросостояния;
- использование программной платформы для проведения углубленной диагностики с целью выявления дефектов на уровне узлов и элементов РМК самосвалов БЕЛАЗ.

Особенностями беспроводной системы вибромониторинга СВМ-РМК-420 являются: надежная передача данных в условиях прерывания и нестабильности сотовой связи; передача значительных



Пробег самосвала: а – 164 044 км; б – 194 809 км; в – 233 357 км

Рис. 4. Гармонические спектры вибрации вала солнечной шестерни второго планетарного ряда РМК в зависимости от пробега. Источник: [8]

объемов информации для обеспечения высокоинформативного амплитудно-частотного анализа вибрации критичных элементов редуктора посредством пакетной передачи данных в бинарном коде; использование обратной связи для дистанционного управления с сервера установками режима работы системы вибромониторинга. Все это позволяет разделить информацию о техническом состоянии РМК на два уровня: начальный – ведение на борту самосвала оперативного контроля общего технического состояния редуктора с визуализацией на панели приборов машины предупреждающих сигналов оператору (водителю); углубленный уровень диагностирования – выявление дефектов целых узлов и элементов РМК самосвалов БЕЛАЗ на компьютерах эксплуатирующих и обслуживающих организаций.

Мониторинг технического состояния на пути к «умному карьеру»

Благодаря возможности беспроводной передачи на компьютер сервисных служб не только средних численных значений вибраций, но и записи их сигналов персонал ремонтных подразделений карьера может с помощью программного обеспечения верхнего уровня анализировать амплитудно-частотные и гармонические спектры вибрации РМК. На рис. 4 в качестве примера приведены гармонические спектры вибраций солнечной шестерни второго планетарного ряда РМК, полу-

ченные при различных значениях пробега самосвала.

На спектрах наблюдается ряд гармоник, характерных для установленной на нем солнечной шестерни с числом зубьев $z=22$ (гармоники №№22, 44, 66, 88 и 110-зубцовый f_z и кратных ей частот $2 f_z$, $3 f_z$, $4 f_z$ и $5 f_z$). Рост амплитуд названных гармоник с увеличением пробега самосвала позволяет использовать их в качестве критерия при эксплуатационной оценке текущего технического состояния солнечной шестерни второго ряда РМК.

Внедрение бортовых беспроводных систем вибромониторинга дает значительные преимущества всем организациям и структурам, связанным с производством и эксплуатацией карьерной техники.

Наиболее заинтересованной стороной являются службы, связанные с обслуживанием и ремонтом. Они получают возможность контролировать ресурс тех-

ники, проводить оценку экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации, планировать проведение ремонтно-восстановительных работ, организовывать распределение запасных частей, необходимых для формирования одиночного, группового и ремонтного комплектов, снижать численность персонала в сфере технического обслуживания и ремонта.

С точки зрения добывающих организаций, внедрение беспроводных систем вибромониторинга обеспечит:

- уменьшение расходов на техническое обслуживание за счет предотвращения незапланированного простоя;
- повышенную безопасность персонала и техники;
- более низкие производственные затраты за счет оптимальной настройки технологического процесса;
- управление рациональным использованием топлива и энергоресурсов;



Рис. 5. Преимущества беспроводной системы вибромониторинга для производителя карьерных самосвалов. Источник: [8]

- оптимальную производительность машин по загрузке за счет контроля и учета рабочего времени и простоев и т.д.

Преимущества наличия удаленной беспроводной системы контроля и обработки данных вибромониторинга для производителя карьерных самосвалов приведены на рис. 5.

Заключение

Отечественные нормативные документы не предусматривают систематического применения информационных технологий для поддержки процессов логистического анализа, таких как безопасность, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность, техническое обслуживание и ремонт, материально-техническое обеспечение и др., в рамках интегрированной информационной среды предприятия. Однако проблема внедрения мониторинга технического состояния машин и организации их техобслуживания по фактическому состоянию приобрела особую актуальность в связи с большей ориентацией отечественных машиностроительных предприятий на международные рынки и потребностью снизить затраты на эксплуатацию мобильных ТСИ. Это предопределяется необходимостью перевода данных процессов на современную методическую и программно-техническую базу, приемлемую в первую очередь для иностранных заказчиков отечественной продукции. Таким образом, вопрос внедрения Индустрии 4.0 в целом и Мониторинга состояния 4.0 в частности для изделий отечественных

предприятий переходит в ряд первоочередных, поскольку от ее решения в значительной мере зависит конкурентоспособность отечественной продукции на мировых рынках. Кроме того, мониторинг технического состояния уже встал на путь Индустрии 4.0, и сейчас эффективно работающая автоматическая система оценки и управления техническим обслуживанием оборудования с полной интеграцией в системы управления активами – необходимость в рамках концепции промышленного Интернета вещей.

Использование системы вибромониторинга редукторов мотор-колес самосвалов БЕЛАЗ с беспроводной передачей данных позволяет эксплуатационным службам карьера организовать централизованное управление режимами сбора данных; непрерывно собирать их с вибродатчиков различного типа с заданной частотой изменений; оперативно обрабатывать и отображать в реальном времени; оценивать остаточ-

ный ресурс критичных элементов редуктора. Это дает возможность оптимизировать расходы на ремонт и техническое обслуживание самосвалов при обеспечении их максимальной эксплуатационной готовности. При этом служба механика может осуществлять контроль технических параметров самосвала, выдавать оперативную информацию для ремонтных служб, составлять диаграмму неисправностей машин, производить идентификацию неработающих узлов.

Наличие и оснащение такими средствами мобильных машин является ключевым условием для перехода от высокзатратных планово-предупредительных ремонтов к их обслуживанию по фактическому состоянию, что значительно снижает эксплуатационные затраты потребителя на поддержание самосвалов в рабочем состоянии, а значит, повышает привлекательность и конкурентоспособность выпускаемой техники. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Why You Need A Data Strategy To Succeed In Industry 4.0 // <https://www.forbes.com/sites/teradata/2015/04/08/why-you-need-a-data-strategy-to-succeed-in-industry-4-0/#60dbec8a4536>.
2. Integrating the Next Generation of Vibration Analysis into Condition Monitoring Strategies // <https://www.oneprod.com/unclassified/integrating-the-next-generation-of-vibration-analysis-into-condition-monitoring-strategies/>.
3. Дэн Ноуэр. Предотвратить аварийный останов // Горная промышленность. 2013. №4. С. 41–44.
4. МОНИТОРИНГ 2017. Итоги / Система мониторинга в реальном времени платформы DPA (Discrete Processes Automation) // https://rundpa.com/legacy/monitoring_2017_itogi.
5. Беспилотная техника и интеллектуальные разработки. Лукашенко ознакомился с инновациями при добыче щебня на «Граните» // <https://www.belta.by/president/view/bespilotnaja-tehnika-i-intellektualnye-razrabotki-lukashenko-oznakomilsja-s-innovatsijami-pri-dobyche-444475-2021/>.
6. Зубчатые передачи и трансмиссии в Беларуси: проектирование, технология, оценка свойств / В.Б. Альгин [и др.]; под общ. ред. В.Б. Альгина, В.Е. Старжинского. – Минск, 2017.
7. Ишин Н.Н. Динамика и вибромониторинг зубчатых передач / Н.Н. Ишин. – Минск, 2013.
8. Ишин Н.Н. Использование беспроводных технологий передачи диагностических данных для оценки технического состояния РМК самосвала БЕЛАЗ / Н.Н. Ишин, А.С. Скороходов, В.И. Адашкевич, Д.Н. Ахременко, А.В. Черепок, С.А. Шишко // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – Минск, 2021. Вып.10. С. 181–187.

РОБОТЫ

И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ



Автоматизация – особый вид технологического процесса, который предполагает передачу управленческих и контрольных функций от человека к роботизированному оборудованию. Технологий, позволяющих автоматизировать производственный процесс, множество, но в последнее десятилетие в приоритете робототехника. Хотя четкого определения робота не существует, под этим термином обычно понимается программируемое механическое устройство, способное выполнять задачи и взаимодействовать с внешней средой с ограниченным или отсутствующим вмешательством человека.

Разнообразие роботизированных механизмов огромно – от автономных устройств, состоящих из механических манипуляторов и перепрограммируемых систем управления, до умных машин, способных работать наравне с челове-

ком. Роботы постепенно становятся ключевым инструментом повышения производительности труда. Сегодня они заполняют склады и заводы по всему миру, а автоматизация преобразует все большее количество отраслей, захватывая все новые – сельское хозяйство, строительство, производство электроники, металлургию, машиностроение, логистику, в первую очередь в складировании, сферу услуг. Годовой мировой оборот робототехники оценивается экспертами в 50 млрд долл. (робототехнические системы, включая программное обеспечение и периферийные устройства). По данным «Бостонской консалтинговой группы», в 2030 г. общий объем мирового рынка робототехники может достичь от 160 до 260 млрд долл. Аналитики также отмечают, что к этому году профессиональные сервисные роботы опередят обычных промышленных роботов и коботов, объем рынка которых оценивается

от 90 до 170 млрд долл. и от 40 до 50 млрд долл. соответственно.

Преимущества промышленных роботов очевидны, их содержание обходится дешевле, чем сотрудника, они могут заменять или дополнять его. Большая их часть используется на работах широкого спектра там, где применение роботов целесообразнее и эффективнее, чем труд людей. Тенденция внедрения роботов в технологическую цепочку становится жизненно важным фактором роста национальных экономик, повышения производительности труда, особенно в сферах, связанных с перемещением или преобразованием физических объектов. Их дальнейшее массовое использование будет зависеть от цены и скорости развития технологий, в том числе таких как распознавание эмоций, генерация естественной речи и др., которые пока не столь широко применяются в промышленном масштабе, но в будущем позволят передать роботам еще больше задач в разных отраслях.

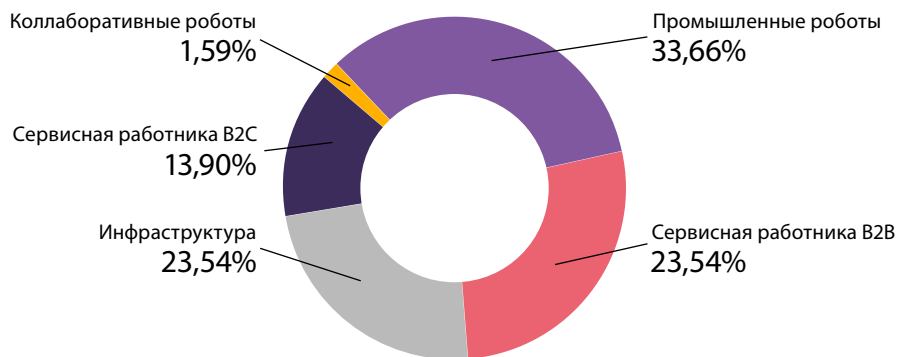


Рис. 1. Общий объем рынка роботов в % и его сегменты. Источник: [2]

Международная федерация робототехники (IFR) отмечает ускорение темпов промышленной автоматизации во многих странах. В опубликованном ею в декабре 2021 г. официальном отчете говорится, что в 2020 г. было отгружено 384 тыс. промышленных роботов, а в целом на заводах их уже 3 млн, их среднее число возросло с 66 в расчете на 10 тыс. работников в 2015 г. до 126 в 2020 г. Лидирует в этом списке Южная Корея с показателем в 932 робота, для сравнения в 2017 г. их было 710 (рис. 2.), на втором месте Сингапур – 605 машин, к концу 2019 г. – 918. В России этот показатель равен 6.

Крупнейшим в мире рынком промышленных роботов явля-

ется Азия, где их установлен 71% от всех купленных в 2020 г.; большая часть приходится на Китай – 168,4 тыс. ед. На втором месте по размеру рынка оказалась Япония: в 2020 г. там установили 38,6 тыс. машин. Ожидается, что в текущем году японский рынок робототехники продолжит рост в среднем на 5% в год.

Южная Корея стала четвертым по величине рынком по объему ежегодных установок роботов после Японии, Китая и США.

Лидерами по производству и количеству установленных промышленных роботов являются такие компании, как Fanuc – 400 тыс., Yaskawa – 360 тыс., KUKA – 350 тыс., ABB – 300 тыс.

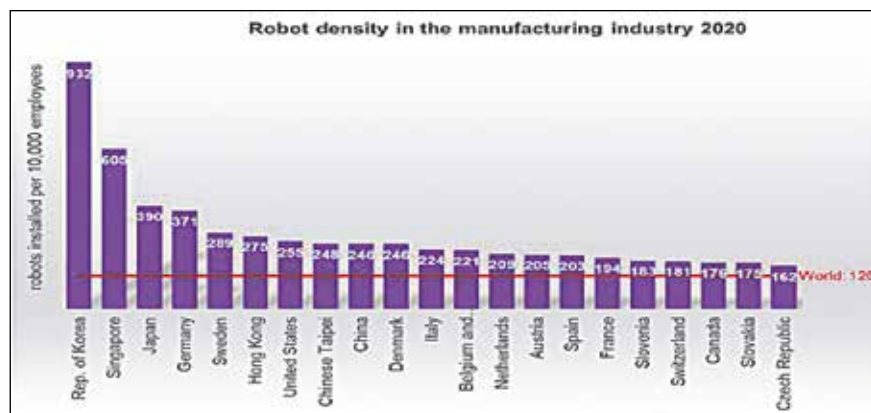


Рис. 2. Количество роботов в обрабатывающей промышленности на 10 тыс. занятых. Источник: [4]

Паттерны принятия роботов

Один из убедительных аргументов в пользу активного внедрения роботов – их экономическая эффективность. Эксперты Фонда информационных технологий и инноваций (IFTI) выявили несколько закономерностей, характеризующих данный процесс. Первая из них касается уровня заработной платы сотрудников: чем он выше, тем больше вероятность замещения работника роботом. Кроме того, они обратили внимание на то, что распространение робототехники зависит от отрасли, при этом наибольший спрос демонстрирует автомобильная промышленность. В зависимости от страны на эту область приходится от 30 до 60% от общего числа промышленных роботов. Тем не менее многие государства, включая Бразилию, Канаду, Францию, Италию, Россию, Испанию, Швецию и США, имеющие мощную автоиндустрию, не торопятся с роботизацией. В то же время у Китая показатели по общему внедрению роботов довольно существенны, несмотря на относительно небольшой автомобильный сектор по сравнению с вышеперечисленными странами. Вторая, не менее важная закономерность, на которую указывают аналитики, кроется в различии культурных установок. По их мнению, они играют существенную роль в массовом распространении робототехники. Например, у южнокорейцев более благоприятное отношение к роботам в экономике, чем у американцев. Япония стала страной активной роботизации, пока другие государства осторожничают и при-

держиваются позиции, что машины – терминаторы, уничтожающие рабочие места (рис. 3).

Однако ключевую роль эксперты отводят государственной политике по стимулированию робототехники. Правительства США, стран Евросоюза, Южной Кореи, Японии, Китая признают ее следующей прорывной технологией и формируют государственные программы поддержки. Так, Япония еще в 2015 г. приняла Новую робототехническую стратегию, в которой заложен механизм пятилетних планов «Инициатива робототехнической революции», нацеленных на завоевание этой страной ведущей позиции в использовании роботов в сочетании с элементами искусственного интеллекта, Интернетом вещей, большими данными. В стране сложились партнерские отношения между государственным и частным сектором робототехники, исследования и разработки в которых активно стимулируются. Результат этой работы впечатляет – Япония занимает ведущую позицию по выпуску промышленных роботов, здесь создано 8 крупнейших мировых производств.

Успех Южной Кореи – тоже результат последовательной политики государства в области поддержки робототехники. В 2008 г. в стране был принят Закон о содействии и распространении «умных роботов», который содержал основы национальной стратегии развития отрасли. В нем был закреплён термин «умный робот», определяемый как «механическое устройство, которое способно воспринимать окружающую среду, распознавать обстоятельства, в которых оно функционирует, и целенаправленно

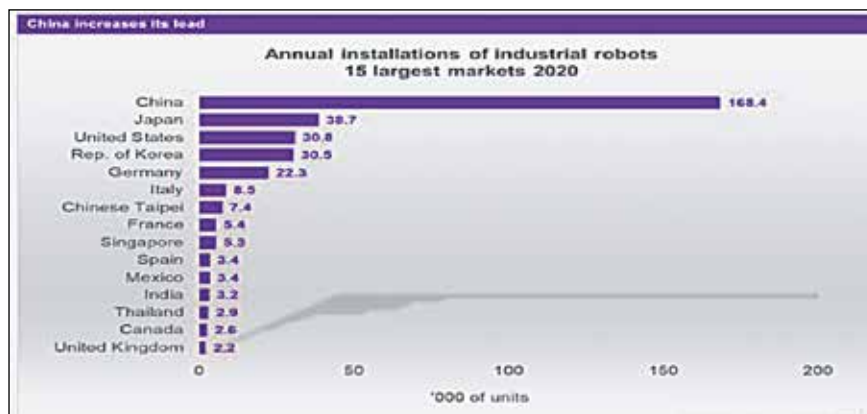


Рис. 3. Крупнейшие рынки установки промышленных роботов, 2020 г., тыс. ед.

Источник: [4]

передвигаться самостоятельно». Важным нововведением стало учреждение Корейского института развития робототехники – ведомства, ответственного за регулирование и совершенствование робототехнического направления. В 2020 г. Южная Корея приняла дорожную карту развития этой отрасли, главная цель которой – войти в четверку лучших в мире производителей роботов к 2023 г., в том числе за счет государственной финансовой поддержки, политики дерегулирования, ослабления правил, касающихся разработки и внедрения роботов. Кроме того, государство предоставляет инвестиционный налоговый кредит при покупке современного оборудования.

Япония и Словения в качестве стимула позволяют предприятиям использовать механизмы ускоренной амортизации нового оборудования. Другие страны также прибегают к поддерживающим мерам по внедрению передовых технологий, в том числе робототехники. Правительство Сингапура предоставляет налоговые преференции компаниям, работающим в этой области. Предприятия обрабатываю-

щей промышленности и сферы инженерных услуг получают господотации по проектам, связанным с робототехникой.

Особого внимания заслуживает Китай, где на государственном уровне поставлена задача к 2025 г. увеличить число роботов в промышленности в десять раз. В результате национальные и провинциальные правительства субсидируют огромные суммы на внедрение роботов и других технологий автоматизации. Например, провинция Гуандун намерена инвестировать примерно 135 млрд долл. на обновление технологий и модернизацию промышленных предприятий, в том числе с помощью робототехники. Аналогичным образом действует провинция Аньхой и др.

У таких стран, как США и Великобритания, менее щедры налоговые преференции в отношении капитальных затрат на робототехнику, поэтому они и показывают более низкий уровень ее распространения.

Тем не менее правительство США учредило Национальную инициативу по робототехнике для поддержки исследований и разработок в этой

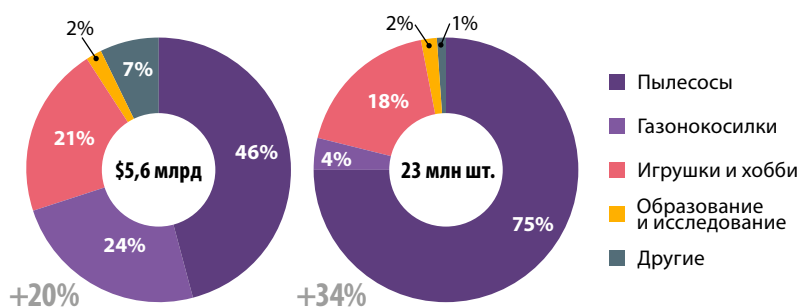


Рис. 4. Структура рынка сервисной робототехники в сегменте B2C. Источник: [2]

области. На государственном уровне поощряется сотрудничество между академическими, промышленными, некоммерческими и другими организациями, чтобы лучше связать фундаментальную науку, инженерию, разработку, развертывание и использование технологий. Согласно данным IFR, количество роботов в обрабатывающей промышленности США в 2020 г. выросло незначительно – с 228 до 255 единиц на 10 тыс. работающих, и это 7-е место в мире.

Новая 9-я Рамочная программа ЕС «Горизонт Европа» также продвигает исследования и инновации в робототехнике. На четвертый тематический кластер этой программы «Цифровые технологии, промышленность и космос» в 2021–2022 гг. выделено 15,349 млн евро. Проекты сосредоточены на цифровых изменениях в производстве и строительстве, медицине, автономных решениях для систем обмена данными (между роботами, человеком и роботом).

По данным Национальной ассоциации участников рынка робототехники, в Российской Федерации в 2019 г. было установлено 1410 промышленных роботов (в 2017 г. – 713). Однако в стране хорошо развито производство сервисных роботов, им занимаются 73 компании. Они успешно выпускают роботизированные протезы, например кибернетические руки, роботов-помощников, а также курьеров, навигаторов. Согласно оценкам IFR, в мире насчитывается 889 производителей сервисных роботов, из них 183 – начинающие разработчики. Лидером в секторе являются США, где работает 223 компании. Следом за Россией в рейтинге производителей идут Германия (69), Китай (64), Франция (52) и Япония (50).

Общей статистики по использованию промышленных роботов в Беларуси нет. По информации Министерства промышленности, робототехника на отечественных

предприятиях используется в сварке, окраске, сборке, технологиях поверхностного монтажа радиоэлектронных компонентов. Также применяется технологическое оборудование, работающее с управлением в программной среде (как и робот), которое можно отнести к классу роботизированного. Разработки в этой сфере ведутся и в вузах республики, и в научных организациях НАН Беларуси. Так, на кафедре робототехнических систем факультета информационных технологий и робототехники БНТУ проектируются системы автоматизации в приборостроении и радиоэлектронике, включая системы управления промышленными манипуляторами. Кафедра интеллектуальных информационных технологий БрГТУ занимается разработкой систем управления малогабаритными мобильными роботами. В секторе робототехники лаборатории моделирования самоорганизующихся систем Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси ведутся работы по развитию технологий робототехники как фундаментального, так и прикладного характера. Основное направление лаборатории – анализ сложных динамических систем в пространстве состояний, а также разработка интеллектуальных систем управления одиночными и коллективными роботами на основе искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов.

Однако для существенного прорыва в области робототехники этого недостаточно. Требуется пересмотр отношения государства, промышленности и науки к вопросам автоматизации. С учетом того, что рынок промышленной робо-

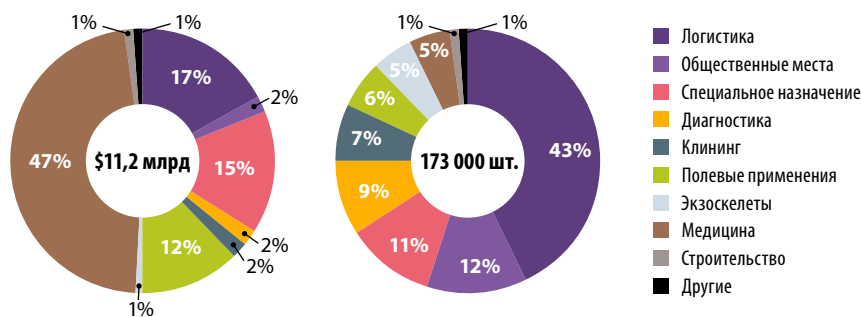


Рис. 5. Структура рынка сервисной робототехники в сегменте B2B. Источник: [2]

тотехники считается состоявшимся, имеет смысл обратить внимание на сервисную робототехнику, которая все еще развивается (рис. 4.). В этом сегменте можно найти пустующие ниши, поэтому у отечественных производителей и науки есть шанс их заполнить. Особенно это актуально для медицины, систем распознавания лиц и речи, где у нас имеются наработки.

За 2020 г. стремительно выросли три сегмента автономных мобильных роботов: логистика, медицинское обслуживание, уборка и дезинфекция. Перспективен рост числа устройств, занятых в охране магазинов и частных территорий, надзоре за детьми.

Тенденции и перспективы развития рынка робототехники

Применение информационных и коммуникационных технологий меняет современное производство на интеллектуальное, которое стимулируется появлением и развитием многих технологий, в том числе высокопроизводительного компьютерного программного обеспечения для автоматизированного проектирования, облачных вычислений, Интернета вещей, 3D-печати, машинного обучения и беспроводного соединения. Цифровизация изменяет способы проектирования, изготовления, использования, эксплуатации и послепродажного обслуживания изделий, а также трансформирует технологии управления производственными цепочками поставок. Конвергенция цифровых технологий и производства все в большей степени способствует появ-

лению новой парадигмы, для которой характерно наличие крупных компаний, отличающихся большим разнообразием выпускаемой продукции, что позволяет им оставаться рентабельными и небольшими предприятиями, обслуживающих местные рынки по всему миру. Эксперты ITIF считают, что новые технологии создадут более децентрализованные и географически распределенные производственные системы, что может привести к встраиванию развивающихся стран в глобальные производственные цепочки и их участию в международном разделении труда, в том числе за счет наличия дешевой рабочей силы. И это несмотря на то, что многие страны, такие как США, Германия, Франция и Великобритания, уже выдвинули стратегии reshoring, или возвращения, выведенного ранее за рубеж производства. С одной стороны, просматривается потребность ведущих держав мира в реиндустриализации и восстановлении своей ранее утраченной промышленной базы, их стремление в большей степени осуществлять эффективный контроль качества, защищать интеллектуальную собственность. С другой – формировать более короткие и адаптивные цепочки поставок и извлекать максимально высокую добавленную стоимость.

Основными тенденциями развития промышленных роботов являются внедрение машинного зрения, искусственного интеллекта, создание колаборативных роботов, которые могут работать совместно с человеком, повышение простоты их использования, эксплуатации и обслуживания. Роботы становятся более уни-

версальными, гибкими, точными и менее дорогими. При их разработке используется открытый программный код, цифровые технологии управления.

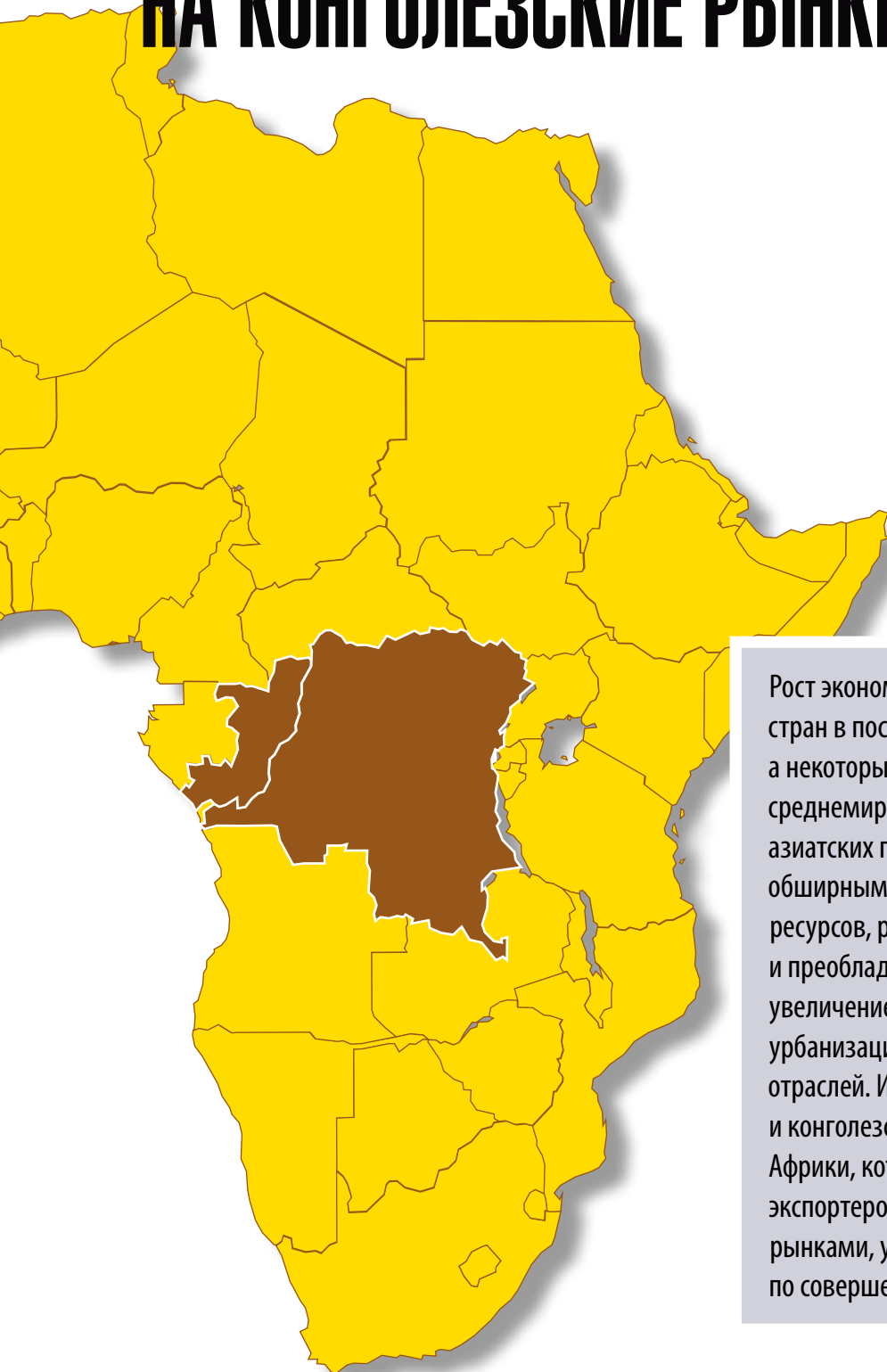
Для нашей страны также актуален процесс реиндустриализации, в первую очередь для дальнейшего развития машиностроения, электронной, электротехнической и других отраслей обрабатывающей промышленности. С учетом опыта зарубежных стран и Российской Федерации в Беларуси необходимо внести соответствующие изменения в программу приоритетного развития данных отраслей для более широкого применения промышленных роботов, промышленного Интернета вещей и в целом цифровизации. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Robotics and future production and work // <https://itif.org/publications/2019/10/15/robotics-and-future-production-and-work>.
2. Робототехника: фантастика, которая станет реальностью // <https://gazprombank.investments/blog/market/robotics/>.
3. World Robotics 2020 // https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.pdf.
4. World Robotics 2021 // https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf.
5. World Robotics 2021 // https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf.
6. О.Б. Пичков, А.А. Уланов. Регулирование робототехники: анализ опыта ведущих стран // <https://doi.org/10.38044/2686-9136-2021-2-2-31-44>.
7. World Leader Robotics // <https://kiria.org/eng>.
8. Japan's Robot Strategy // http://www.meti.go.jp/english/press/2015/pdf/0123_01b.pdf.
9. China's Guangdong province invests billions in robot factories, Xinhua, 2015 // <http://www.global-times.cn/content/914262.shtml>.
10. Аналитический обзор мирового рынка робототехники 2019 // https://adindex.ru/files2/access/2019_07/273895_sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf.
11. Горизонт Евropa, бюджет // <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f107d76-acbe-11eb-9767-01aa75ed71a1>.

Тамара ЧЕРНЫШЕВА

ВЫХОД БЕЛОРУССКИХ ЭКСПОРТЕРОВ НА КОНГОЛЕЗСКИЕ РЫНКИ



Павел Шведко,
заведующий сектором
экономики зарубежных
стран Института
экономики
НАН Беларуси



Екатерина Тавгенъ,
научный сотрудник
Института экономики
НАН Беларуси

Рост экономик большинства африканских стран в последние 15 лет составляет 4–5%, а некоторых – 6–8% в год, и опережает среднемировой уровень и показатели многих азиатских государств. Это обусловлено обширными запасами природных ресурсов, ростом численности населения и преобладанием в его структуре молодежи, увеличением покупательной способности, урбанизацией, ростом продуктивности в ряде отраслей. Именно к таким регионам относятся и конголезские республики Центральной Африки, которые могут стать для белорусских экспортеров новыми перспективными рынками, учитывая активную работу этих стран по совершенствованию деловой среды.

Демократическая Республика Конго



Демократическая Республика Конго (ДРК) располагает двумя третями тропических лесов Африки, богатыми недрами и значительным гидроэнергетическим потенциалом. Облада-

дая 80 млн гектаров пахотных земель и залежами более 1100 видов минералов и драгоценных металлов, государство может стать одной из основных стран-экспортеров на континенте и движущей силой роста в Африке. К благоприятным факторам развития экономической деятельности с ДРК можно отнести: обширные запасы природных ресурсов, в том числе меди, кобальта, золота, алмазов, нефти; относительно прибавку численности среднего класса.

За последние два десятилетия республика пережила множество политических конфликтов, что неблагоприятно сказалось на эффективности работы экономической системы. Процесс осуществления необходимых экономических реформ идет медленными темпами из-за политической нестабильности, распространения бюрократии и коррупции, что ограничивает перспективы притока иностранных инвестиций [1]. Среди других недостатков ДРК для ведения внешнеторговой и инвестиционной деятельности можно выделить: слаборазвитую (для второй по величине страны в Африке) инфраструктуру, вызывающую рост расходов в цепочке поставок; высокий уровень бедности (более 70%); низкую внутреннюю покупательскую способность.

Тем не менее реализация крупномасштабных инфраструктурных проектов и стремление правительства улучшить деловую среду за счет финансовой помощи МВФ обеспечат стимулирование притока капитала и поддержку экономической активности в будущем.

ДРК открыта для международной торговли, на которую приходится порядка трех четвертей ее ВВП. Государство в основном экспортирует продукцию горнодобывающей промышленности (медь, кобальт, алмазы, золото), изделия из древесины и кофе; импорт представлен продуктами питания, фармацевтическими препаратами, машинами, оборудованием и топливом [2]. Главными торговыми партнерами ДРК выступают Китай, Замбия, Республика Корея, ЮАР.

Хотя на сельскохозяйственный сектор страны приходится 18% ВВП и более 60% новых рабочих мест, он все еще не может гарантировать продо-

вольственную безопасность, достаточный уровень доходов и устойчивую занятость [3]. Экспортные возможности для иностранных, в том числе и белорусских, поставщиков присутствуют в таких областях, как посадка и культивация сельскохозяйственных культур; рыболовство; удобрения, гербициды, пестициды и фунгициды; сельхозтехника; создание агропромышленных комплексов.

Конголезский горнодобывающий сектор предоставляет много высокоприбыльных возможностей. Страна обладает существенными неразработанными запасами золота, кобальта и меди высокого качества, однако деятельность в этой отрасли сопряжена с рисками ухудшения ситуации в сфере безопасности, которые усугубляются отсутствием надежной инфраструктуры [4]. Перспективные направления внешнеторгового сотрудничества охватывают добычу медно-никелевой, золотой и кобальтовой руды, поставки горнодобывающего оборудования, производство и передачу электроэнергии.

ДРК обладает огромным и разнообразным энергетическим потенциалом, охватывающим как невозобновляемые ресурсы (нефть, природный газ и уран), так и возобновляемые источники, включая энергию биомассы, солнца и ветра, геотермальную и гидроэлектроэнергию. Основная деятельность по модернизации электроэнергетической системы, в том числе строительство новых и восстановление существующих объектов, регулируется и финансируется горнодобывающими компаниями, которые стремятся максимизировать свои производственные мощности. Зарубежный опыт и иностранная продукция востребованы в следующих подсекторах: производство

Год	Экспорт товаров, тыс. долл.	Импорт товаров, тыс. долл.	Внешнеторговый оборот, тыс. долл.	Сальдо внешней торговли, тыс. долл.
2010	0	0	0	0
2011	935	7	942	928
2012	1632	35	1667	1597
2013	608	0	608	608
2014	1626	0	1626	1626
2015	199	2	201	197
2016	1234	954	2188	280
2017	1016	7	1023	1009
2018	1348	1	1349	1347
2019	390	3	393	387
2020	600	0	600	600

Объемы внешней торговли товарами Республики Беларусь с Демократической Республикой Конго в 2010–2020 гг.

Источник: [2]

электроэнергии, строительство линий электропередачи, мобильные электрогенерирующие установки, строительство и обслуживание гидроэлектрических турбин, солнечная энергетика.

Правительство ДРК предпринимает усилия по совершенствованию национальной системы здравоохранения. В большинстве больниц и клиник, особенно в отдаленных районах, отсутствует необходимое медицинское оборудование. Особый спрос предъявляется на рентгеновскую аппаратуру, осциллографы, анализаторы спектра, медицинские, хирургические, стоматологические и ветеринарные инструменты.

Государство по-прежнему страдает от вспышек заболеваний, включая малярию, желтую лихорадку, лихорадку Эбола, полиомиелит, холеру, корь и туберкулез. Сектор здравоохранения получает бюджетную поддержку от правительства, однако она носит весьма ограниченный характер. Фармацевтическая продукция пользуется большим спросом среди 89-миллионного населения ДРК, особенно это касается зарубежных лекарственных препаратов (вакцин и лекарственных средств) из-за их высокого качества.

Существует четыре возможных стратегии выхода на конголезский рынок:

- экспорт через конголезских ритейлеров (из-за узкой промышленной базы в ДРК подавляющее большинство потребительских товаров и готовой продукции импортируется);
- создание совместного предприятия (многим иностранным контрагентам требуются глубокие знания местной деловой среды и детальный анализ рынка, которые может предоставить только локальный партнер);
- открытие нового офиса;
- франчайзинг.

К главным центрам дистрибуции относятся Киншаса, Лубумбаши, Матади, Мбужи-Майи, Мбандака, Кананга, Киквит, Кисангани, Гома и Букаву. Крупные торговые фирмы, которые занимаются различными видами коммерческой деятельности, доминируют в большинстве секторов. Многие фирмы, в том числе конголезские, ливанские, индийские и пакистанские, ведут, по крайней мере, часть своего бизнеса по неофициальным каналам.

Белорусским поставщикам следует учитывать, что импортная продукция облагается различными дополнительными сборами, а именно:

- административный платеж в размере 2% от стоимости CIF;

- платежи Конголезскому контрольному управлению (ОСС) в размере 1,5% от стоимости CIF;
- оплата услуг Управления морского грузового транспорта (OGEFREM) в размере 0,58% от стоимости CIF;
- взносы в Фонд содействия развитию промышленности (FPI) в размере 2% от стоимости CIF;
- стоимость проверки со стороны Бюро по инспекции, экспертизе, оценке и контролю (BIVAC) в размере 1,5% от стоимости FOB [3].

ДРК – часть зоны свободной торговли КОМЕСА, поэтому товары, происходящие из стран – членов данной интеграционной структуры, пользуются преимуществом беспошлинного ввоза.

Таким образом, при ведении бизнеса в ДРК иностранные агенты сталкиваются с рядом проблем, как то: обременительные административные процедуры, неоднозначные регулятивные документы и т.д. Тем не менее страна обладает емким внутренним рынком и стратегическим географическим положением в центре Африканского континента, являясь при этом членом Общего рынка Восточной и Южной Африки. Государство имеет значительный потенциал в сфере гидроэнергетики и горнодобычи, который в основном остается неиспользованным. Это открывает возможности для участия белорусских компаний в содействии экономическому развитию данной страны.

Республика Конго



Экономика Республики Конго совмещает в себе элементы натурального хозяйства и промышленного сектора, где ключевую роль играет нефтедобывающая отрасль. Именно она сместила

лесное хозяйство с позиций основы экономической системы и обеспечивает 75% доходов бюджета, до 90% экспорта, почти две трети ВВП и является главным источником поступления валютных средств.

К благоприятным факторам экономической деятельности с Конго можно отнести:

- хорошую природно-ресурсную базу (нефть, железная руда, древесина, калий, фосфаты) и значительный сельскохозяйственный потенциал;
- стратегическое географическое положение в Центральной Африке, наличие 170-километровой береговой линии с Атлантическим океаном и глубоководного порта в г. Пуэнт-Нуар, что может способствовать развитию всего субрегиона;

- *высокий уровень урбанизации (70% населения проживает в городах);*
- *возможность диверсификации экономики благодаря открытию зон свободной торговли.*

Нынешней администрации необходимо решить ряд сложных проблем, в том числе обеспечить стимулирование процессов восстановления экономики, эффективность управленческих механизмов, а также минимизировать зависимость от нефтяного сектора. В 2020 г. внешний долг государства составлял более 100% ВВП. Среди других недостатков Республики Конго для ведения внешнеторговой и инвестиционной деятельности можно выделить:

- *высокий уровень бедности (37% населения живет менее чем на 1,9 долл. в день) и безработицы (11,3%);*
- *слаборазвитую инфраструктуру, не способную обеспечить активную торговлю;*
- *узкую производственную базу [5].*

Внешнеторговая политика способствует созданию благоприятных социально-экономических условий, направленных на стимулирование международной торговли, на долю которой приходится порядка 110% ВВП. Республика Конго экспортирует сырую нефть и нефтепродукты, рафинированную медь, необработанную древесину. Импортируются преимущественно суда специального назначения, стальные конструкции, изолированные провода, лекарственные препараты и пальмовое масло [2]. Ведущими внешнеторговыми партнерами выступают Китай, ЕС, Ангола, Габон, Норвегия и США.

Сельскохозяйственный сектор не отличается особой эффективностью и не может удовлетворить внутренний спрос в полной мере. Порядка 40% населения занято в натуральном агропроизводстве, на которое приходится всего 4% ВВП. Конго обладает множеством пахотных земель, однако, по последним оценкам, только 2% из них обрабатывается. Страна сильно зависит от импорта продовольствия, составляющего около 80% внутреннего потребления продуктов питания [6] и поступающего в основном из ДРК, Франции и США.

Существуют возможности для экспорта в Республику Конго различных категорий продуктов питания, а также для организации производства и переработки продовольственных товаров. Так, например, недавно на территории страны южноафриканские фермеры арендовали землю именно с этой целью.

Дальнейшее экономическое развитие сдерживает отсутствие надежной единой энергосистемы и надлежащего механизма распределения электроэнергии, выработку которой вынуждены самостоятельно обеспечивать потенциальные инвесторы. Ее производство, с одной стороны, не соответствует уровню внутреннего спроса, а с другой – превышает возможности распределительной системы, модернизация которой является ведущим подсектором, обладающим потенциалом для внешнеторгового сотрудничества.

Горнодобывающий сектор в Республике Конго все еще находится на ранней стадии своего развития. В настоящее время не ведется крупномасштабная добыча полезных ископаемых, имеют место только мелкие внутренние операции. Считается, что страна обладает значительными запасами железной руды, меди, алмазов, фосфатов, калия и золота. В ближайшем будущем планируется начать более активную добычу железной руды: по крайней мере, 3 международные компании сейчас используют разрешения на разработку месторождений. Их освоение требует создания соответствующей инфраструктуры, включая строительство дорог и портовых сооружений для отгрузки и переработки таких ресурсов.

Республика Конго является четвертым по величине нефтедобытчиком в регионе Африки к югу от Сахары. Несмотря на то что нефть составляет около 90% конголезского экспорта, в стране действует лишь один нефтеперерабатывающий завод в прибрежном городе Пуэнт-Нуар, который удовлетворяет порядка 65% внутренних потребностей [7]. Правительство активно

Год	Экспорт товаров, тыс. долл.	Импорт товаров, тыс. долл.	Внешнеторговый оборот, тыс. долл.	Сальдо внешней торговли, тыс. долл.
2010	1912	6	1918	1906
2011	559	24	583	535
2012	1521	110	1631	1411
2013	1236	385	1621	851
2014	1695	0	1695	1695
2015	609	18	627	591
2016	316	212	528	104
2017	815	80	895	735
2018	894	81	975	813
2019	922	6	928	916
2020	406	5	411	401

Объемы внешней торговли товарами Республики Беларусь с Республикой Конго в 2010–2020 гг.

Источник: [2]

занимается вопросом модернизации этого предприятия, чтобы увеличить его производственные мощности, и изучает возможности для строительства дополнительного завода. Шельфовое бурение и разведка месторождений остаются основными видами деятельности, но государство заинтересовано в развитии береговой разведки и системы нефтепереработки, техническом обслуживании, обеспечении логистики поставок и строительстве необходимой инфраструктуры.

Около 60% общей площади страны покрывают тропические леса. Из них почти 80% (22,5 млн га) считаются пригодными для коммерческого использования. При этом древесина – второй главный экспортный товар после нефти. Окуме – древесина лиственных пород с небольшой плотностью, применяемая для изготовления фанеры – наиболее популярный продукт отрасли (на ее долю приходится около 50% производства). Необработанные бревна составляют до 90% экспорта древесины.

Действующее в данной сфере законодательство требует, чтобы все лесозаготовительные компании перерабатывали не менее 80% своей продукции на внутреннем рынке. Однако соблюдение таких норм не представляется возможным, учитывая нынешнюю нехватку технических возможностей в стране. Это открывает нишу для иностранных компаний, занимающихся переработкой заготовленной древесины в доски, фанеру и мебель или другие изделия и поставками соответствующего оборудования.

Для понимания конголезской деловой среды, перспективных возможностей и потенциальных рисков, связанных с налаживанием внешнеторговых связей, большое значение имеют частые визиты для встречи с ключевыми игроками в правительстве и различными экономическими институтами. Важность личных отношений невозможно переоценить; зарубежные партнеры не могут рассчитывать на охват серьезной доли рынка без учреждения местного присутствия и выстраивания надежной сети контактов с локальными представителями.

Для ведения торговой деятельности в Республике Конго услуги агента или дистрибьютора, как правило, не обязательны. Однако большая часть иностранной продукции в стране продается именно через местных агентов. При этом конголезское законодательство требует, чтобы зарубежные компании нанимали генерального менеджера, являющегося резидентом Республики Конго.

Качественное послепродажное обслуживание клиентов, своевременная техническая поддержка и наличие достаточного количества запасов позволяют зарубежному контрагенту получить значительное конкурентное преимущество, поскольку западные стандарты взаимодействия с потребителями становятся все более востребованными на местном рынке.

Следует отметить, что Республика Конго входит в состав Экономического и валютного сообщества стран центральной Африки (СЕМАК) и имеет общую валюту – Центральноеафриканский франк с пятью другими государствами-членами в регионе.

Товары, импортируемые из-за пределов СЕМАК, облагаются таможенными пошлинами по четырем категориям тарифных ставок:

- *продукты первой необходимости (мука, рис и т.д.)* – 5%;
- *сырье и основное производственное оборудование* – 10%;
- *промежуточные товары (инструменты, шины и т.д.)* – 20%;
- *потребительские товары (консервы, электроника и т.д.)* – 30%.

Дополнительные сервисные сборы, как то за оформление документов и пр., могут составлять 20–60% от стоимости CIF [7].

Таким образом, хотя таможенные пошлины являются одними из самых высоких в Африке, а транспортные расходы существенно повышают стоимость реализации продукции, тот факт, что страна импортирует широкий ассортимент различных товаров, обуславливает ее перспективность в качестве рынка сбыта зарубежных продуктов. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Congo, The Democratic Republic of the / Coface for trade // <https://www.coface.com/Economic-Studies-and-Country-Risks/Congo-The-Democratic-Republic-Of-The>.
2. Trade Map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre // <http://www.trademap.org/Index.aspx>.
3. Democratic Republic of the Congo Country Commercial Guide / The International Trade Administration (ITA), U.S. Department of Commerce // <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/democratic-republic-congo-market-overview?section-nav=13487>.
4. Economy and Business Opportunities from Congo, The Democratic Republic of the / GlobalTenders.com // <https://www.globaltenders.com/economy-of-congo-democratic-republic.php>.
5. Republic of Congo / Allianz Trade // https://www.allianz-trade.com/en_global/economic-research/country-reports/Congo.html.
6. The World Bank in the Republic of Congo / The World Bank // <https://www.worldbank.org/en/country/congo/overview#1>.
7. Congo / Crédit Agricole Group // <https://international.groupecreditagricole.com/en/international-support/congo/business-environment>.



Ольга Овечкина,
доцент кафедры логистики
и ценовой политики БГЭУ,
кандидат
экономических наук;
ovechkinaolga@rambler.ru

ТЕНДЕНЦИИ ЭКСПОРТНОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ БЕЛОРУССКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ МОЛОЧНЫХ ТОВАРОВ



Валерия Крипан,
студентка 4-го курса
факультета маркетинга
и логистики БГЭУ;
lera_kripan@mail.ru

Аннотация. В статье изложены результаты исследования мирового и белорусского рынков молочных товаров в контексте решения проблем продовольственной безопасности. Выявлены тенденции развития этой сферы и динамики цен на молочную продукцию. Определено, что они являются ключевым инструментом деятельности хозяйствующего субъекта – мерой взаимодействия продавцов и покупателей. Приведены примеры расчета отпускной и экспортной цены. Обоснована необходимость учета влияния совокупности внутренних и внешних объективных и субъективных факторов и условий рынка в процессе ценообразования.

Ключевые слова: мировой рынок, молочные товары, продовольственная безопасность, себестоимость, отпускная цена, экспортная цена, ценообразование.

Для цитирования: Овечкина О., Крипан В. Тенденции экспортного ценообразования белорусских производителей молочных товаров // Наука и инновации. 2022. №8. С. 79–83. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-79-83>

УДК 339.13:338.534 (339.564)

Функционирование глобального продовольственного рынка обуславливает развитие перерабатывающих предприятий, в первую очередь – по производству продуктов питания, и способствует решению проблем продовольственной безопасности. Обеспечение стабильности этой сферы – один из ключевых приоритетов национальной политики всех без исключения государств мира, в том числе и Республики Беларусь. Согласно Доктрине национальной продовольственной безопасности до 2030 г. основной задачей нашей страны является гарантия высокого качества питания для населения, востребованность белорусских продуктов на внешних рынках и интеграция в мировой продовольственный рынок. В документе отмечено, что продовольственная независи-

мость – это максимальная автономность и экономическая состоятельность национальной продовольственной системы, ее адаптивность к международной конъюнктуре при рациональном использовании производственного потенциала агропромышленного комплекса и активной внешнеэкономической деятельности. Кроме того, продовольственная безопасность считается достигнутой при наличии для всех людей постоянной физической, социальной и экономической доступности достаточного количества безопасной и питательной пищи, позволяющей удовлетворять их потребности в еде и вкусовые предпочтения для ведения активного и здорового образа жизни [3]. По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Республика Беларусь занимает 23-е место среди 113 стран в мировом рейтинге продовольственной безопасности [2].

Экспорт и импорт выступают главным инструментом достижения сбалансированного производства и потребления, важным средством обеспечения социально-экономического роста, в соответствии с чем ключевым инструментом деятельности предприятия является цена. В обстановке рыночной конкуренции она формируется преимущественно под воздействием ряда внутренних и внешних объективных и субъективных факторов с учетом характера деятельности, целей и задач субъекта хозяйствования. Система ценообразования как комплекс целевых мероприятий и мер направлена на достижение производителем главной цели функционирования – прибыли и устойчивой конкурентоспособности посредством удовлетворения потребностей целевых групп покупателей.

В мировой структуре производства молока на долю коровьего приходится более 85%, причем около 60% его объема, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, покрывают 10 стран: Индия – на 18%, США – 12%, Бразилия и Китай – по 5%, Россия и Германия – по 4%, Франция и Новая Зеландия – по 3%, Пакистан и Турция – по 2% [7].

Несмотря на неблагоприятные экономические, геополитические, погодные условия последних лет и перебои в логистических цепочках в отдельных регионах в условиях пандемии, молочная отрасль развивалась относительно стабильно. В ответ на увеличение спроса повышались мировые показатели переработки по всем основным категориям товаров: в 2019 г. на 5,5% по сравнению с 2018 г., в 2020 г. – на 2,3% по сравнению с 2019 г. Вместе с тем следует отметить рост цен и их значительные скачки (табл. 1).

По результатам проведенных расчетов средняя цена на мировом рынке молока в 2021 г. повысилась на 18% по сравнению с 2019 г. и на 20% по сравнению с 2020-м.

Аналитики IFCN, прогнозируя развитие мирового молочного рынка до 2030 г., ожидают прирост производства на 35% при увеличении общей численности населения планеты на 16%, наряду с этим в следующие 10 лет цены на масло будут снижаться на 4%, в то время как показатели по сыру будут расти на 20%. Эксперты отмечают расширение рынка сыворотки и технических ингредиентов из молока, в частности изолята и гидролизата сывороточного белка. В большей степени производимые продукты будут поставляться на китайский рынок, где потребление продуктов на их основе вырастет на 10% в следующие пять лет. Кроме того, рынок растительных альтернатив составляет серьезную конкуренцию не только для основных молочных категорий, но и для рынка ингредиентов: более 15% продуктов изготавливаются на основе растительных источников, таких как соя, горох и рис [11].

Потребность белорусского населения в молочных продуктах, по официальным данным главного управления внешнеэкономической деятельности Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, в полной мере удовлетворяется за счет отечественного производства: уровень самообеспечения определяется в 256%, при производстве молока и молочных товаров 828 кг/чел. на душу населения в год и объеме потребления 244 кг/чел. Доля нашей страны в мировом производстве молока – 1%, торговле молочными продуктами – 6%, республика занимает 4-е место среди крупнейших экспортеров сыров после Евросоюза, Новой Зеландии и США, экспортные поставки молочной продукции (в 58 стран) достигли около 60% от общего объема производства [1].

Динамика потребительских цен на продукты питания на белорусском рынке испытывает влияние мировой конъюнктуры и складывающегося изменения стоимости импортируемой продукции. Вследствие этого особое значение при-

Год/месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2018	31,9	35,0	35,0	36,0	38,0	37,2	35,0	34,6	33,7	32,2	31,3	30,9
2019	33,7	35,9	38,5	40,9	42,1	36,5	36,4	36,4	36,2	36,1	37,3	37,4
2020	38,3	39,9	38,7	38,1	35,6	34,9	36,0	33,9	34,5	35,7	35,2	37,4
2021	40,5	43,1	46,0	46,9	46,4	45,2	42,7	41,8	43,3	44,4		

Таблица 1. Динамика цен на мировом рынке молока (жирность – 4%, содержание белка – 3,3%), долл./100 кг
Источник: [12]

Основные группы продуктов	Период, месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Индекс потребительских цен основных групп молочных продуктов в 2020 г. по отношению к декабрю 2019 г. (декабрь 2019 г. = 100%)												
Молоко и молочные продукты	101,22	102,16	102,62	102,64	102,19	101,60	102,18	102,27	102,33	102,72	103,56	104,16
Мороженое	99,93	100,75	100,52	101,01	103,44	104,94	105,83	105,13	107,97	108,36	109,79	108,87
Сыры	100,76	100,71	101,67	102,14	101,61	102,50	102,85	102,45	102,92	103,55	104,26	105,29
Масло (жив.)	100,34	100,77	101,93	101,86	101,09	100,74	100,68	100,94	101,13	101,74	102,14	101,43
Индекс потребительских цен основных групп молочных продуктов в 2021 г. по отношению к декабрю 2020 г. (декабрь 2020 г. = 100%)												
Молоко и молочные продукты	100,37	101,40	101,30	101,63	101,55	101,66	101,87	104,27	105,09	106,14	106,27	
Мороженое	101,98	101,80	102,48	104,59	103,33	105,32	107,72	108,08	110,40	112,53	115,38	
Сыры	100,34	100,54	100,72	101,37	101,28	99,81	99,90	101,90	103,00	103,03	103,68	
Масло (жив.)	100,69	101,85	102,08	102,59	102,54	102,33	102,00	104,90	106,03	106,44	106,64	

Таблица 2. Изменение индекса потребительских цен основных групп молочных продуктов в Республике Беларусь в 2020–2021 гг. по отношению к базисному периоду (декабрю предыдущего года), %
Источник: разработка автора по [4]

обретают меры государственного регулирования внутреннего рынка и цен на социально значимые товары, в первую очередь молоко и его производные, обеспечивающие их доступность для населения, так как в структуре продуктового набора потребительской корзины они составляют 40%, и белорусы в среднем тратят на их покупку до 10% своего дохода (табл. 2).

Данные табл. 2 отражают изменение цен на молоко и молочные продукты на внутреннем рынке Беларуси в пределах показателей инфляции в текущем периоде (примерно +5% в 2020 г., +8% в 2021 г.) и демонстрируют их прирост на 13,5% в 2021 г. по отношению к 2019 г.

Формирование плановой себестоимости продукции и включение затрат осуществляются в соответствии с Законом Республики Беларусь «О ценообразовании», постановлениями Министерства сельского хозяйства и продовольствия и Министерства антимонопольного регулирования и торговли, положениями и методическими рекомендациями по вопросам планирования, учета и калькуляции себестоимости молочной продукции Комиссии по вопросам государственного регулирования ценообразования при Совете Министров Республики Беларусь. Отечественные производители молочных товаров прямые затраты, включаемые в себестоимость продукции, рассчитывают по нормам, установленным руководителями предприятий, косвенные затраты – в соответствии с положениями по учетной политике субъектов хозяйствования, принятыми на текущий год, и нормативами дей-

ствующего законодательства. Например, сырье и материалы включаются в себестоимость продукции по средневзвешенным показателям. Цена на молоко базисной жирности рассчитывается, исходя из плановых заготовок сырья по сортам, по действующим ценам на молоко с учетом доплат за повышенное содержание белка. Так, закупочные цены на сырое коровье молоко (базисного качества) в 2021 г. находились на уровне 0,78 руб. за 1 кг с учетом установленной надбавки в отношении перерабатывающих организаций в размере 0,08 руб. за 1 кг, согласно поставлению Минсельхозпрода [9]. На Белорусской универсальной товарной бирже цены на сырое молоко в 2021 г. в среднем составляли 0,92 руб. (или 0,36 долл.) за 1 кг (демонстрируя тенденции роста), на молоко сухое цельное (жирности 26,0%) – 9,39 руб. (или 3,68 долл.) [6]. Предприятия – производители молочных товаров проводят единое калькулирование затрат продукции, поставляемой на внутренний и внешний рынки.

Цены, по которым осуществляются внешне-торговые операции, могут существенно отличаться от внутренних по величине и динамике изменений. Это объясняется влиянием национальных и интернациональных ценообразующих показателей, действующих в процессе реализации товаров на зарубежном рынке, а также существенными колебаниями таможенных пошлин, налогов, транспортных расходов, условий платежа, рядом оказываемых услуг, предоставляемых производителями, и пр. Эффективность системы ценообразования предприятия

на внешнем рынке во многом зависит от знания многочисленных разновидностей цен и результатов изучения влияния на них как отдельных факторов, так и их совокупности.

Обоснование экспортной цены носит обязательный характер для всех субъектов хозяйствования республики: составляются плановые калькуляции с расшифровкой статей затрат согласно принятой учетной политике и рассчитываются экспортные цены по всем компонентам.

Экспортный контракт должен обеспечить получение прибыли и достижение эффективности внешнеторговой сделки. Оценка ее целесообразности основывается на определении показателя эффективности экспортного контракта (Θ_3) по формуле:

$$\Theta_3 = \frac{B_p}{C + Z_{др}}, \quad (1)$$

где Θ_3 – эффективность экспортного контракта;

B_p – выручка от экспорта товара;

C – себестоимость продукции;

$Z_{др}$ – другие затраты, связанные с экспортом.

Решение о заключении сделки принимается товаропроизводителем в том случае, если рассчитанный показатель ее эффективности соответствует уровню или превышает среднее значение данного показателя, сложившееся по всему объему экспортной деятельности. Для того чтобы определить значения прибыли и рентабельности по заключенному контракту, необходимо использовать технику обратного счета, отталкиваясь от возможной внешней рыночной цены.

Наша республика занимает ведущие позиции в поставках молочных товаров в Российскую Федерацию: доля белорусских импортеров составляет 72% общего объема импорта таких продуктов. Являясь ключевым импортером практически во всех российских регионах, белорусские товаропроизводители в первую очередь используют совокупность следующих позитивных условий: торговые преференции экономической интеграции, профицит внутреннего рынка, ассортимент и качество продуктов, географическую близость двух государств.

Особенностью формирования контрактной цены на молочные товары белорусского производства, поставляемые в Российскую Федерацию, является нулевая ставка налога на добавленную стоимость (НДС). Согласно ст. 102 Налогового кодекса Республики Беларусь, она устанавливается при реализации товаров, помещенных

под таможенную процедуру экспорта, а также вывезенных (без обязательств об обратном ввозе на территорию Беларуси) в государства – члены Евразийского экономического союза (в том числе поставляемых по договорам (контрактам) на изготовление товаров, лизинга, займа) при условии документального подтверждения вывоза товаров за пределы территории нашей страны.

Основанием для применения нулевой ставки при реализации налогоплательщиками ЕАЭС является наличие у них следующих документов:

- *договора (контракта), на основании которого осуществляется продажа продукции, договора финансового лизинга или договора, устанавливающего предоставление займа в виде вещей или предусматривающего изготовление товаров (за исключением их производства из давальческого сырья (материалов);*
- *транспортных (товаросопроводительных) документов, подтверждающих перемещение товаров с территории Республики Беларусь на территорию другого государства – члена Евразийского экономического союза. Наличие указанных документов не требуется, если их оформление не предусмотрено законодательством. При вывозе в Евразийский экономический союз продукции с целью временного хранения, участия в выставках-ярмарках по договорам, заключенным плательщиком с покупателями до ее вывоза с территории нашей страны, требуется наличие также транспортных (товаросопроводительных) документов, подтверждающих отгрузку (передачу) товаров потребителям;*
- *заявления либо перечня заявлений о ввозе товаров и уплате косвенных налогов (представляется плательщиком в налоговый орган по месту постановки на учет одновременно с налоговой декларацией (расчетом) по налогу на добавленную стоимость) [8].*

Вследствие изложенного отпускная оптовая цена (Π_0) молочных товаров белорусских производителей российскому покупателю рассчитывается как сумма себестоимости и прибыли производителя (без НДС):

$$\Pi_0 = C + \Pi, \quad (2)$$

где Π_0 – цена отпускная оптовая производителя;

C – себестоимость продукции;

Π – прибыль производителя.

В издержки по производству экспортируемых товаров могут входить специально преду-

смотренные затраты, связанные со специальным исполнением или дополнительными требованиями Россельхознадзора и других российских санитарно-эпидемиологических служб.

Поставка товаров в Российскую Федерацию осуществляется на условиях FCA Инкотермс 2020, определяющих права и обязанности сторон по контракту купли-продажи. Продавец считается выполнившим свои обязательства тогда, когда товар, выпущенный в таможенном режиме экспорта, загружен на транспортное средство перевозчика, указанного покупателем в контракте, в установленном месте (где риск поставки переходит от продавца к покупателю) [5].

Товары не облагаются таможенной пошлиной согласно Таможенному кодексу Евразийского экономического союза [10].

Ввиду этого контрактная цена (ЦК) включает (в дополнение к отпускной цене) совокупность затрат по выполнению условий поставки:

$$C_k = C + P + T_c + Z_{т/о}, \quad (3)$$

где C_k – цена контракта; C – себестоимость продукции; P – прибыль производителя; T_c – таможенный сервис (затраты на услуги таможенного оформления); $Z_{т/о}$ – затраты производителя на транспортировку и отгрузку товара.

Определено, что доля совокупных затрат белорусских товаропроизводителей по выполнению условий поставки российским покупателям в среднем составляет 20% в контрактной цене.

Следует отметить, что отечественные предприятия – производители молочных товаров активно используют дифференцированные программы лояльности, предусматривающие систему скидок, при заключении экспортных контрактов, например скидки постоянным партнерам-покупателям, скидки за объемы покупки, скидки за досрочную оплату. Подобные программы способствуют установлению долгосрочных отношений и стимулированию продаж, повышению эффективности планирования хозяйственной деятельности, снижению рисков дебиторской задолженности, повышению устойчивости финансовой системы и конкурентоспособности хозяйствующих субъектов.

Таким образом, цена является критерием, определяющим компромисс отношений субъектов рынка, и мерой взаимодействия продавца и покупателя: отражает интересы как производителей в возмещении вложенных в создание товара затрат и получении прибыли, так и потребите-

лей в оправдании стоимости и полезности приобретенного товара. Система ценообразования и формирование доступных для населения цен на молочные продукты являются действенным инструментом решения задач национальной продовольственной безопасности страны и достижения белорусскими производителями главных целей на внутреннем и зарубежных рынках. ■

■ **Summary.** The article presents the results of the research of the world and Belarusian dairy markets in the context of solving food security problems. The trends of market development and price dynamics for dairy products are revealed. It is determined that the price is a key instrument of the activity of an economic entity – a measure of interaction between the sellers and the customers. Examples of calculating the selling and export prices are given. The necessity of taking into account the influence of the complex of internal and external objective and subjective factors and market conditions in the pricing process is substantiated.

■ **Keywords:** global market, dairy products, food security, cost price, prime cost, export price, pricing.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-8-79-83>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балансы продовольственных ресурсов Республики Беларусь (2016–2020): Статистический бюллетень №06/455-р. – Минск, 2021.
2. Беларусь занимает 23 место в мировом рейтинге продбезопасности / БЕЛТА // <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblastiprava/2021/sepember/66390/>.
3. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 г.: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15.12.2017 г. №962 // <http://mshp.gov.by/documents/plant/dccea377014340f4.html>
4. Индексы потребительских цен: Экономическая статистика / Национальный статистический комитет Республики Беларусь // <http://belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/tseny/>.
5. Инкотермс 2020 / Таможенные органы Республики Беларусь // <https://www.customs.gov.by/ru/actual-ru/view/incoterms-2020>.
6. Котировки / Цифры и аналитика / БУТБ // <https://www.butb.by/tsifry-i-analitika/birzhevyie-kotirovki/>.
7. Макроэкономические показатели / ФАОСТАТ // <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/>.
8. Налоговый кодекс Республики Беларусь: Закон Республики Беларусь от 18.10.2016 г. №432–З, с. изм. и доп. от 01.01.2018 г. // <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk0200166>.
9. О надбавках к закупочным ценам на сельскохозяйственную продукцию, закупаемую у населения, в 2021 г.: постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 25.02.2021 г. №15 // <https://mshp.gov.by/documents/prices/a383a0538e21e73c.html>.
10. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза: Приложение №1 к Договору о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза от 11.04.2017 г. / Евразийская экономическая комиссия / Департамент таможенного законодательства и правоприменительной практики // http://eec.eaeunion.org/ru/act/tam_sotr/dep_tamoz_zak/Pages/tk_eaes.aspx.
11. Dairy Report / IFCN Product and Services / IFCN // <https://ifcndairy.org/ifcn-products-services/dairy-report/>.
12. Data table: IFCN World Milk Price Indicator / IFCN Dairy Research Network // <https://ifcndairy.org/about-us/ifcn-dairy-research-network-method/>.

Статья поступила в редакцию 21.12.2021 г.

Vladimir Gusakov

Microelectronics is the guarantor of stability and competitiveness of the domestic industry 4

The interview deals with the development of microelectronics in the world and the opportunities for its growth in the Republic of Belarus.

Valery Baynev, Tatiana Goraeva

Problems of ensuring technological security of the Republic of Belarus 12

The article considers the problems of ensuring the technological security of our country with an emphasis on the creation, development and use of domestic technologies.

Igor Stoma, Ekaterina Malaeva

Microbiome-associated medicine: How are the world of microbes and the world of people connected? 18

The article presents the initial estimating results of the microbial diversity in various gastric diseases using metagenetic approach. The promising areas of clinical medicine are outlined.

Evgenii Voropaev, Aleksey Kovalev, Alexander Shaforost, Aleksey Zyatkov, Olga Osipkina, Igor Stoma

Microbial diversity in various diseases of the stomach 23

The article considers the initial results of the assessed microbial diversity in various diseases of the stomach using a metagenetic approach. The authors show the features of the taxonomic structure of microbiomes in normal tissues and in those with marked pathological process.

Alena Mikhaleuka, Elena Guzenko, Aleksandr Kilchevsky

Microbiome Research Center: Fundamental and applied research 27

The authors present the main fundamental and applied research areas of the Republican Center of Microbiome Study of the Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, contributing to the urgent problems of medicine, criminology and agriculture solution.

Anastasiya Sidarenka, Katerina Akhremchuk, Leonid Valentovich, Katerina Skapavets, Natalia Kirsanova

Intestinal microbiome as an indicator of pathological processes in the human body 32

The article considers the changes in the intestinal microbiota associated with metabolic and autoimmune diseases, diseases of the digestive, cardiovascular and nervous systems, and carcinogenesis.

Aleh Baranau, Stanislau Pantsialeu, Liubou Ivashchanka

Metagenomic studies of forest species in Belarus 38

The article briefly reviews the main directions of metagenomic studies of Belarusian forest species.

Ekaterina Rozhkovskaya

Sectoral structural shifts in the Belarusian economy: Directions and assessment 44

The article analyzes and assesses the intensity of sectoral structural shifts in the Belarusian economy for the period from 1990 to 2020.

Olga Zhukovskaya

The essence, formation and features of assessing national innovation ecosystems 51

The concept of ecosystems is considered within the framework of an interdisciplinary approach to innovation, the place and role of the Republic of Belarus in the global innovation process and possible ways to improve the domestic innovation system are determined.

Iryna Yemelyanovich

The new standard of education 57

The transition of the education sector to analytics for decision-making based on big data, or to an information-based decision, is described.

Mikalai Ishin, Uladzimir Adashevich, Arkadi Goman, Andrei Skorokhodov

Condition monitoring 4.0: Intellectualization of machine resource assessment 61

The monitoring of the technical condition (TCP) of the latest dump trucks, other modern high-tech equipment is considered as one of the decisive steps towards Industry 4.0, which provides the greatest return on investment in complex, labor-intensive industrial production.

Tamara Chernysheva

Robots and economic development 69

The author gives an overview of the market and development trends of industrial robots. The need for wider application of industrial robots, industrial IoT and digitalization in the priority areas of the Belarusian economy in general has been substantiated.

Pavel Shvedko, Ekaterina Tavgen

The entry of Belarusian exporters to the Congolese markets 74

The article analyses the perspective directions of foreign trade relations development of the Republic of Belarus with the Republic of the Congo and the Democratic Republic of the Congo. The authors consider the specifics of doing business in these markets, and give a brief economic review.

Volga Avechkina, Valeryia Krypan

Trends in export pricing of Belarusian dairy producers 79

The authors presented the research results of the world and Belarusian markets for dairy products in the context of solving food security problems.



Ремишевский, К. И. «Врагу беспощадная люта я месьць!»: кинолетопись и киножурнал «Савецкая Беларусь» огненных лет (июнь 1941 – ноябрь 1945 года) / К. И. Ремишевский ; Нац. акад. наук Беларуси, Центр исследований белорус. культуры, яз. и лит. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 271 с.

ISBN 978-985-08-2890-3

В издании рассмотрен широкий спектр искусствоведческих проблем, связанных с изучением белорусского неигрового экранного наследия периода Великой Отечественной войны. Особое внимание уделено практическому применению методологии историко-искусствоведческой атрибуции кинохроникального материала, позволяющей вернуть «раздокументированной» кинолетописи статус полноценного экранного документа. Приведены новые сведения о фронтовом кинолетописном материале, хроникально-документальных фильмах и выпусках киножурнала «Савецкая Беларусь» за 1942–1945 гг. Исследованы результаты работы Белорусской студии кинохроники, в годы оккупации Беларуси временно находящейся в Москве, проанализирован комплекс творческо-организационных мероприятий 1942–1945 гг., направленных на восстановление белорусского хроникально-документального кинопроцесса.

Рекомендуется для историков, культурологов, работников сферы культуры, а также широкого круга читателей.

Шах, С. М. Дыядэмная споведзь : вянок вянкаў вянкаў санетаў / Соф'я Шах. – Мінск : Беларуская навука, 2022. – 640 с.

ISBN 978-985-08-2889-7.

Выдавецтва «Беларуская навука» прапануе ўсім прыхільнікам прыгожага пісьменства першую не толькі ў нас, але і ва ўсёй славянскай паэзіі санетную дыядэму. Гэта самы складаны жанр, у якім 3375 узаемазвязаных санетаў злучаюцца ў вянок вянкаў вянкаў санетаў. Пачынаецца і заканчваецца твор словамі: «Жылі калісьці продкі на зямлі...» Соф'я Шах невыпадкова назвала яго «Дыядэмнай споведдзю». Спавядальнасць – галоўная асаблівасць, дзякуючы якой, як сказана ў прадмове Ізяслава Катлярова, «стагоддзі збліжаюцца і аддаляюцца... Толькі так асабістае перастае быць уласным і набывае мастацкае абагуленае ўвасабленне. Жанравая неабходнасць паўтарэння радкоў надае не толькі рытмамузыку, але і робіцца сэнсавым камертонам...». Мастацкае афармленне выканана на аснове твораў жывапісу С. М. Шах.

Кніга зацікавіць усіх, хто духоўна адчувае сваю лучнасць з паэтычным багаццем роднага беларускага слова.

Стратегия развития внешнеэкономических связей Республики Беларусь в системе международной интеграции / Т. С. Вертинская [и др.]; под ред. Т. С. Вертинской. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 317 с.

ISBN 978-985-08-2891-0.

В работе представлены авторские методики по оценке эффективности внешней торговли и анализу результативности экспортных поставок с позиции формы собственности предприятия, определению направлений специализации внешней торговли Республики Беларусь в условиях ЕАЭС. Разработаны практические рекомендации по совершенствованию системы стимулирования экспорта, в том числе высокотехнологичной продукции, и продвижению белорусских товаров на рынки зарубежных стран, а также по формированию политики импортозамещения в Республике Беларусь в контексте функционирования Евразийского экономического союза.

Издание представляет интерес для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов учреждений высшего образования, факультетов и специальностей экономического профиля, а также руководителей и специалистов предприятий и организаций, осуществляющих внешнеэкономическую деятельность.



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, 267-03-77.
Адрес: ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск, Республика Беларусь
belnauka@mail.ru
www.belnauka.by



25-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТЕХИННОПРОМ

- Индустриальная автоматизация. Цифровое производство
- Оборудование и технологии для промышленного производства
- Инновации. Научно-технические разработки. Международное сотрудничество
- Промышленная продукция и услуги. Организация и совершенствование промышленного производства

techinnoprom.by



В рамках
БЕЛОРУССКОГО ПРОМЫШЛЕННО-
ИННОВАЦИОННОГО ФОРУМА

20-22
СЕНТЯБРЯ **2022**

ФУТБОЛЬНЫЙ МАНЕЖ
Минск, пр. Победителей, 20/2

(+375 17) 368 74 35 | (+375 29) 644 63 69 | rel@expoforum.by



ЭКСПОФОРУМ
выставочное предприятие

Унитарное предприятие «Экспофорум». УНП 100702781