

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Том 90, номер 6, 2020

---

## К 90-летию академика Жореса Ивановича Алфёрова

*Г. Я. Красников*

Жизнь и деятельность нобелевского лауреата	503
В память о выдающемся соотечественнике	507

---

## С кафедры президиума РАН

*П. В. Крестов, К. А. Корзников, Д. Е. Кислов*

Коренные изменения наземных экосистем в России в XXI веке	514
---	-----

*Е. К. Хлесткина, И. Г. Чухина*

Генетические ресурсы растений: стратегия сохранения и использования	522
---	-----

*Н. В. Лукина*

Глобальные вызовы и лесные экосистемы	528
---------------------------------------	-----

*М. Е. Хализева (составитель)*

Трансформация наземных экосистем: оценки, прогнозы, планы РАН. Обсуждение научных докладов	533
---	-----

---

## Организация исследовательской деятельности

*А. Н. Блинов, А. В. Клименко*

Автоматизированная система подбора экспертов в российском научном фонде	540
---	-----

*А. С. Кулагин*

Мониторинг научных организаций или мониторинг научных исследований. Как правильнее?	549
--	-----

---

## Проблемы экологии

*К. Н. Трубецкой, В. Н. Захаров, Ю. П. Галченко*

Природоподобные и конвергентные технологии при освоении минеральных ресурсов литосферы	560
---	-----

*В. И. Осипов, Ю. А. Мамаев, И. В. Козлякова*

Территориальное размещение полигонов твёрдых коммунальных отходов	567
---	-----

---

## Из рабочей тетради исследователя

*А. Н. Переволоцкий, Т. В. Переволоцкая*

Оценка воздействия радиоактивных выбросов на биоту	575
--	-----

---

## Этюды об учёных

*Л. В. Соколова, А. Д. Ноздрачев*

“Небесная физиология” К 145-летию со дня рождения академика А. А. Ухтомского	583
---	-----

---

## Официальный отдел

Президиум РАН решил	593
---------------------	-----

---

# CONTENTS

---

**Vol. 90, No. 6, 2020**

---

## **To the 90th Anniversary of Academician Zhores Alferov**

<i>G. Ya. Krasnikov</i>	
Life and work of a Nobel laureate	503
In memory of an outstanding compatriot	507

---

## **On the Rostrum of the RAS Presidium**

<i>P. V. Krestov, K. A. Korznikov, D. E. Kislov</i>	514
Fundamental changes in terrestrial ecosystems in Russia in the XXI century	
<i>E. K. Khlestkina, I. G. Chukhina</i>	522
Plant genetic resources: a conservation strategy and use	
<i>N. V. Lukina</i>	528
Global challenges and forest ecosystems	
<i>M. E. Khalizeva (compiler)</i>	
Transformation of terrestrial ecosystems: estimates, forecasts, plans of the RAS. <i>Discussion of scientific reports</i>	533

---

## **Organization of Research**

<i>A. N. Blinov, A. V. Klimenko</i>	
Automated system for selecting experts in the Russian Scientific Foundation	540
<i>A. S. Kulagin</i>	
Monitoring of scientific organizations or monitoring of scientific research. What is correct?	549

---

## **Environmental problems**

<i>K. N. Trubetskoy, V. N. Zakharov, Yu. P. Galchenko</i>	
That resemble natural ones, and convergent technologies	560
<i>V. I. Osipov, Yu. A. Mamaev, I. V. Kozlyakov</i>	
Territorial placement of solid municipal waste landfills	567

---

## **From the Researcher's Notebook**

<i>A. N. Perevolotsky, T. V. Perevolotskaya</i>	
Assessment of the impact of radioactive releases on biota	575

---

## **Profiles**

<i>L. V. Sokolova, A.D. Nozdrachev</i>	
“Celestial physiology”. <i>On the 145th anniversary of the birth of academician A. A. Ukhtomsky</i>	583

---

## **Official Section**

Decisions of the RAS Presidium	593
--------------------------------	-----

---



## К 90-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ЖОРЕСА ИВАНОВИЧА АЛФЁРОВА

15 марта 2020 г. исполнилось бы 90 лет нашему выдающемуся соотечественнику академику Жоресу Ивановичу Алфёрову. Центром юбилейных мероприятий стал Санкт-Петербург, где Жорес Иванович провёл большую часть своей жизни. В Москве памятной дате было посвящено заседание президиума РАН, состоявшееся 18 марта. На нём с основным докладом выступил академик РАН Г.Я. Красников, организатор юбилейных мероприятий в Санкт-Петербурге, ученик и последователь Ж.И. Алфёрова. Своими воспоминаниями о Жоресе Ивановиче поделились также президент РАН академик А.М. Сергеев, председатель ЦК КПрФ Г.А. Зюганов, директор Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН С.В. Иванов, член-корреспондент РАН В.М. Устинов, академики РАН Ю.В. Гуляев, Р.А. Сурис, А.Г. Забродский. Мы предлагаем вниманию наших читателей своего рода отчёт о юбилейном заседании президиума РАН.

### ЖИЗНЬ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НОБЕЛЕВСКОГО ЛАУРЕАТА

© 2020 г. Г. Я. Красников

*Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН, Москва, Россия*

*E-mail: niime@niime.ru*

Поступила в редакцию 03.04.2020 г.

После доработки 03.04.2020 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

**Ключевые слова:** Ж.И. Алфёров, полупроводники, гетеропереходы, двойные лазерные гетероструктуры, Ленинградский электротехнический институт, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, электронная промышленность, волоконно-оптическая связь, Санкт-Петербургский академический университет, Нобелевская премия по физике.

DOI: 10.31857/S0869587320060055

Жорес Иванович Алфёров родился 15 марта 1930 г. в городе Витебске Белорусской ССР. Его родители были убеждёнными коммунистами, и потому своё имя Жорес получил в честь известного французского социалиста, основателя Объединённой социалистической партии Франции Жана Жореса, а старшего брата родители назвали Марксом в честь Карла Маркса. Во время войны семья Алфёровых жила в Свердловской области. Отец, бывший командир кавалерийского полка Красной Армии, работал директором оборонного завода, производящего пороховую целлюлозу.

Старший брат Маркс ушёл добровольцем на фронт в 17 лет прямо со студенческой скамьи. Маркс Алфёров, будучи командиром взвода и роты, воевал под Сталинградом, на Курской дуге, был награждён орденом Красной Звезды и медалью “За отвагу”. В октябре 1943 г. он провёл три дня с семьёй в Свердловске, когда после госпиталя возвращался на фронт. И эти три дня, фронтовые рассказы старшего брата, его страстную юношескую веру в силу науки и инженерной мысли

Жорес запомнил на всю жизнь. Маркс Алфёров погиб 15 февраля 1944 г. в бою у деревни Хильки в последние дни Корсунь-Шевченковской операции, похоронен в братской могиле. По словам Жореса Ивановича, сила духа и моральные качества старшего брата оказали большое влияние на формирование его характера: “Он был человеком более талантливым, более целеустремлённым и чистым, чем я”.

После войны семья Алфёровых вернулась в Минск. Там будущий учёный окончил среднюю школу с золотой медалью. Огромную роль в его дальнейшей жизни сыграл учитель физики: “Он перевернул меня, и мне захотелось заниматься физикой и электроникой после того, как он рассказал мне про катодный осциллограф и локацию”. Теперь эта школа носит имя бывшего ученика — Минская гимназия № 42 имени лауреата Нобелевской премии Ж.И. Алфёрова.

По окончании школы Жорес Алфёров один год отучился в Белорусском политехническом институте — решил поступать в Ленинградский электротехнический институт. Его приняли на второй курс факультета электронной техники без экзаменов. В то время институт был одним из пе-

КРАСНИКОВ Геннадий Яковлевич — академик РАН, академик-секретарь ОНИТ РАН.



редовых вузов в области отечественной электроники и радиотехники. Именно там, начав в 1950 г. экспериментальную работу под руководством Наталии Николаевны Созиной, незадолго до того защитившей диссертацию на тему полупроводниковых фотоприёмников в ИК-области спектра, Алфёров впервые столкнулся с полупроводниками, ставшими главным делом его жизни. В 1952 г. он с отличием окончил ЛЭТИ по специальности “электровакуумная техника”.

В декабре 1952 г. в ЛЭТИ проходило распределение. Жорес Иванович мечтал работать в Ленинградском физико-техническом институте Академии наук СССР (ЛФТИ), которым руководил его основатель — академик Абрам Фёдорович Иоффе и где в разные годы работали академики Игорь Васильевич Курчатов и Юлий Борисович Харитон, нобелевские лауреаты Пётр Леонидович Капица и Лев Давидович Ландау. И Алфёрову повезло, уже 30 января 1953 г. он начал работать в ЛФТИ (впоследствии имени А.Ф. Иоффе). В лаборатории советского физика Владимира Максимова Тучкевича, ставшего позднее академиком и Героем Социалистического Труда, он занимался разработкой первых советских транзисторов и силовых германиевых приборов. В мае 1953 г. эти транзисторные приёмники демонстрировались “высокому начальству”, а в октябре в Москве работу принимала правительственная комиссия.

В очень короткое время в лаборатории профессора В.М. Тучкевича были созданы первые советские германиевые силовые выпрямители, германиевые фотодиоды и кремниевые солнечные батареи, изучалось поведение примесей в германии и кремнии.

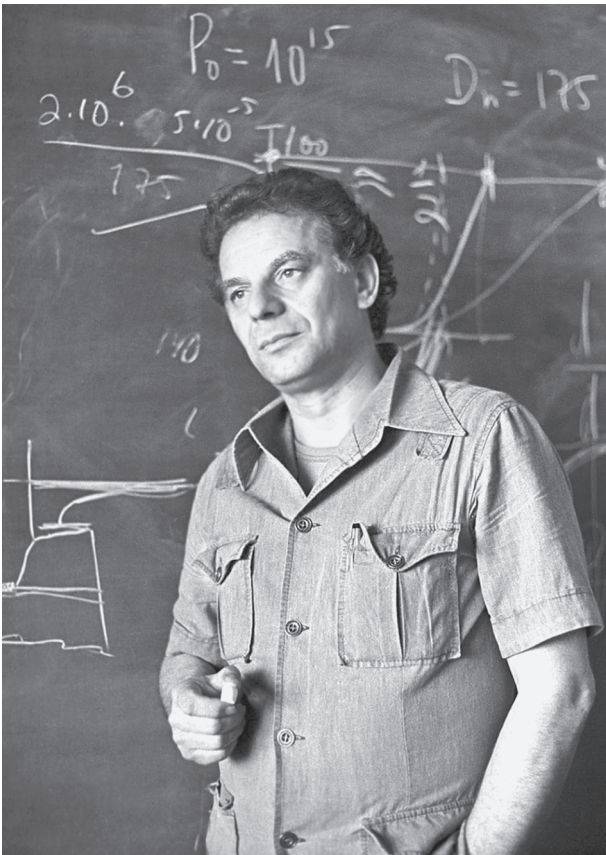
В мае 1958 г. к Алфёрову обратился академик Анатолий Петрович Александров с просьбой разработать полупроводниковые устройства для первой советской атомной подводной лодки “Ленинский комсомол”. Для решения этой задачи нужны были принципиально новые технология и конструкция германиевых вентиляей. За выполнение этой задачи в 1959 г. Ж.И. Алфёров получил свою первую награду — орден “Знак Почёта”. Тогда же он начал изучать физику полупроводников и гетероструктур.

В 1960 г. Жорес Иванович организовывал передачу на саранский завод “Электровыпрямитель” технологии производства силовых приборов, и в Саранске очень тепло о нём вспоминают. Он работал с белорусскими предприятиями — с “Планаром”, который разрабатывает оборудование для микроэлектронного производства, и другими.

В 1961 г. Жорес Иванович защитил в институте Иоффе кандидатскую диссертацию, посвящённую разработке и исследованию мощных германиевых и частично кремниевых выпрямителей. В 1970 г. он защитил докторскую диссертацию на тему “Гетеропереходы в полупроводниках”, в которой обобщил новый этап исследований в этой области и создал первый в мире гетеролазер на известной теперь всем гетеропаре галлий арсенид — алюминий-галлий арсенид ( $\text{GaAs} - \text{AlGaAs}$ ).

Занятия прикладной наукой у Жореса Ивановича шли параллельно с преподавательской работой. В 1972 г. он стал профессором, а через год — заведующим базовой кафедрой оптоэлектроники ЛЭТИ при ЛФТИ. Он возглавлял кафедру, на которой преподавали известные учёные, 30 лет. Время создания базовой кафедры совпало с периодом интенсивного развития информационных технологий, базирующихся на достижениях электроники и оптоэлектроники.

Зимой 1971 г. Алфёров отправился в США, когда Франклиновский институт присудил ему медаль Стюарта Баллантайна за теоретические и экспериментальные исследования двойных лазерных гетероструктур, благодаря которым были созданы источники лазерного излучения малых размеров. Этой награды были удостоены многие известные физики, в том числе 11 лауреатов Нобелевской премии. А в 1972 г. он получил Ленинскую премию за фундаментальные исследования гетеропереходов в полупроводниках и создание новых приборов на их основе.



В 1972 г. Жорес Иванович Алфёров был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1979 г. — академиком. В 1990—1991 гг. он занимал пост вице-президента АН СССР, а с 1991 по 2017 г. — вице-президента Российской академии наук.

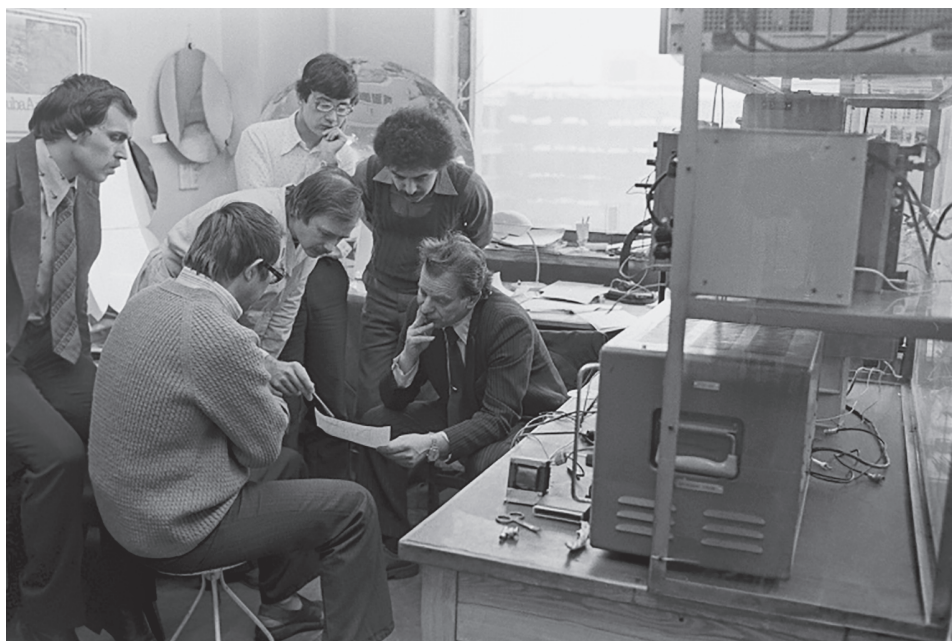
Как представитель Академии наук СССР Ж.И. Алфёров активно занимался отечественной электронной промышленностью на этапе её становления и развития в 1970—1980-е годы. Он плотно общался не только со всеми советскими министрами электронной промышленности, но и с видными иностранными учёными в этой области. С американским физиком Джоном Бардиным, лауреатом Нобелевской премии за изобретение транзистора совместно с Уильямом Шокли и Уолтером Браттейном, с изобретателем первого полупроводникового светодиода Ником Холомьяком и многими другими.

В 1987 г. Ж.И. Алфёров возглавил Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе и руководил им до 2003 г., оставаясь до 2006 г. председателем учёного совета института. В ФТИ под его руководством была разработана новая конструкция лазеров с использованием технологии гетероструктур с предельным размерным квантованием. Благодаря этому достижению наша страна стала лидером в данной области. В 1988 г. Жорес Иванович стал деканом физико-технического факультета Ленинградского (Санкт-Петербургского) государственного политехнического университета (СПбГПУ).

Ж.И. Алфёров — почётный доктор более 60 университетов мира, автор сотен научных работ, трёх монографий и 50 изобретений. Среди его учеников более 100 кандидатов и докторов наук. Наиболее известные представители его школы члены-корреспонденты РАН Д.З. Гарбузов, Н.Н. Леденцов, В.М. Устинов, А.Е. Жуков, доктор физико-математических наук В.М. Андреев, В.И. Корольков, С.Г. Конников, С.А. Гуревич, Ю.В. Жилияев, П.С. Копьёв.







За свои заслуги Жорес Иванович был избран почётным членом многих российских и иностранных академий, в том числе Национальной академии наук Республики Беларусь, Национальной академии наук Украины, Оптического общества (США). Он — единственный из российских учёных — в 1990 г. стал иностранным членом Национальной академии наук США и иностранным членом Национальной инженерной академии наук США, Академии науки и технологии Кореи, Испанской инженерной академии, национальных академий наук Азербайджана, Казахстана, Литвы и Молдовы, Польской и Болгарской академий наук, Академии наук “Forty” (Италия), Китайской академии наук.

В 2000 г. Шведская королевская академия наук удостоила Жореса Ивановича Алфёрова совместно с немецким физиком Гербертом Кремером Нобелевской премии за разработку полупроводниковых гетероструктур, используемых в высокочастотных схемах и оптоэлектронике.

На рубеже тысячелетий стало очевидно, что будущее информационных систем за компактными и быстрыми устройствами, которые позволяют передавать огромное количество информации за короткий промежуток времени. Созданные на базе исследований Алфёрова приборы и устройства буквально произвели научную и социальную революцию. Стало возможным создание волоконно-оптической связи и высокоскоростного доступа в Интернет, а значит, и формирование целых промышленных отраслей. Благодаря исследованиям Жореса Ивановича фактически создано новое научное направление — гетеропереходы в полупроводниках.

Жорес Иванович Алфёров был многогранной личностью и помимо научной работы активно участвовал в общественно-политической деятельности. С 1989 по 1992 г. он был депутатом



Верховного совета СССР от Академии наук СССР, с 1995 г. — депутатом Государственной думы Федерального собрания РФ, членом Комитета по образованию и науке. В своей политической деятельности он неизменно отстаивал интересы российской науки и Академии наук.

Любимым детищем Жореса Ивановича был Санкт-Петербургский академический университет — научно-образовательный центр нанотехнологий РАН, ректором-основателем которого он стал в 2002 г. Ранее это учебное заведение было известно как Научно-образовательный центр ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. В 2009 г. университет был реорганизован путём присоединения к нему Санкт-Петербургского физико-технологического научно-образовательного центра РАН, лица «Физико-техническая школа» при Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН и получил своё современное название. Сегодня университет носит имя своего основателя — Жореса Ивановича Алфёрова. В 2004 г. он организовал и возглавил кафедру физики и технологий наноструктур в Институте физики, нанотехнологий и телекоммуникаций (ИФНиТ) университета. Был научным руководителем ИФНиТ СПбГПУ.

В 2010 г. Жореса Ивановича назначили научным руководителем инновационного центра в Сколково. Как сопредседатель Консультативного научного совета фонда «Сколково» он был инициатором выездных заседаний в Америке, Германии, Израиле, почти во всех странах СНГ. Вот как он сам об этом говорил:

*«Успех “Сколково” как не территории, а идеологии будет связан на самом деле с очень непростым, в том числе и для российских учёных, симбиозом нашей научной общественности, научных работников с бизнесом, с научным бизнесом. Большой успех будет связан только с тем, что мы найдём такие проекты, которые дают возможность выйти на совершенно*

*новые рубежи. Здесь важно сегодня сосредоточиться на медико-биологических исследованиях, в которые очень активно идут информационные, полупроводниковые технологии, наноструктуры».*

Жорес Иванович Алфёров имеет множество правительственных и международных наград и премий: он лауреат государственных премий, полный кавалер ордена “За заслуги перед Отечеством”, награждён орденом Ленина, высокими наградами Белоруссии, премиями мировых научных сообществ — Киото, Карпинского, Холоньяка и многими другими знаками отличия.

В 2019 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин подписал Указ “Об увековечении памяти Ж.И. Алфёрова”. Отмечая его выдающийся вклад в развитие отечественной и мировой науки, президент поручил учредить 10 персональных стипендий имени Ж.И. Алфёрова для молодых учёных в области физики и нанотехнологий, присвоить имя Ж.И. Алфёрова Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому Академическому университету РАН, установить мемориальную доску на доме, где он жил, а также назвать его именем одну из улиц Санкт-Петербурга.

Уход из жизни Жореса Ивановича стал невосполнимой утратой не только для России, но и всего мира. Благодаря его энергии и таланту свершились важные открытия и прорывы в научном знании, создавшие основу современного высокотехнологичного общества. Он был не только выдающимся учёным, но и настоящим Гражданином нашей страны. Он всегда твёрдо отстаивал свои взгляды на всех уровнях, несмотря на то, что они противоречили официальной позиции власти, правительства. Жорес Иванович понимал, что это неизбежно создаст ему проблемы, но иначе поступить просто не мог, не мог пойти против своих убеждений. Именно таких людей нам сегодня очень не хватает.

## К 90-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ЖОРЕСА ИВАНОВИЧА АЛФЁРОВА

### В ПАМЯТЬ О ВЫДАЮЩЕМСЯ СООТЕЧЕСТВЕННИКЕ

Первым слово взял президент Российской академии наук академик **А.М. Сергеев**. Он поделился своими впечатлениями о Ж.И. Алфёрове, значении его научных достижений, вклада в науку. По мнению А.М. Сергеева, научную и творческую деятельность Жореса Ивановича отличало стремление к тому, чтобы знание, которое получал он и его команда, как можно быстрее становилось на службу промышленности, стране, миру. Главное его достижение — выдающееся открытие гетероструктур — высокий пример чистой фундаментальной науки, на основе которой в дальнейшем были созданы полупроводниковые лазерные технологии, определившие развитие электроники. За время активной деятельности одного поколения учёных эти научные достижения фактически перевернули весь технологический уклад, в основе которого лежит современная электроника, миллиарды микросхем. Это удивительный пример.

Да, Нобелевские премии дают за великие, выдающиеся открытия, но первое, на что надо обратить внимание, это эффект открытия, то есть насколько оно нужно учёным, которые развивают другие области знания, а также промышленности и обществу в целом, подчеркнул А.М. Сергеев. Открытие Ж.И. Алфёрова имело огромный научный и общественный резонанс.

Нельзя не отметить, считает А.М. Сергеев, вклад Жореса Ивановича в формирование эффективной системы подготовки кадров в стране. Алфёровский университет в полной мере реали-

зует триаду гимназия—университет—академия, установленную ещё Петром Великим в 1724 г., в момент создания Академии наук. Эта модель успешно реализована в Санкт-Петербургском национальном исследовательском Академическом университете РАН — детище Алфёрова — и получила всеобщее признание.

А.М. Сергеев отметил также позицию, которую Ж.И. Алфёров отстаивал в период реформирования Академии наук. Он один из самых ярких её защитников, особенно в Государственной думе. Все помнят его выступления, его обращения к власти, его активную агитацию в пользу сохранения роли и престижа Российской академии наук, и академическое сообщество благодарно ему за это.

Затем слово было предоставлено **Г.А. Зюганову**, председателю ЦК Компартии РФ, депутату Государственной думы РФ, который поделился воспоминаниями о сотрудничестве с Ж.И. Алфёровым. Жорес Иванович присоединился к фракции КПРФ более 20 лет назад. Его привлекло то, что фракция голосовала за современное образование, за научный подход, за соединение науки с производством, за достойную оплату труда. По словам Г.А. Зюганова, до того он не встречал людей, у которых научный талант столь естественно уживался бы с честной гражданской позицией, мужеством борца и ораторским искусством. К голосу Алфёрова прислушивались все.

В то время в Думе был создан Комитет по образованию и науке. Естественно, Жорес Иванович в него вошёл, наряду с первым заместителем Г.А. Зюганова профессором МГУ И.И. Мельниковым, академиком Б.С. Кашиным, членом фракции КПРФ О.Н. Смолиным. Сложилась сильная команда, и когда в Думу был внесён закон, который, по сути дела, разрушал науку, впервые в истории профильный комитет отказался голосовать за него. К сожалению, тогда непопулярное решение продавили.

Г.А. Зюганов сообщил, что за последние годы КПРФ подготовила ряд важных законов, которые были внесены в Думу, предложила бюджет развития. Ж.И. Алфёров блестяще выступал, когда требовалось найти “золотое сечение” в бюджете. Ведь бюджет эффективен тогда, когда на социальную сферу выделяется примерно одна пятая расходной части: 7% на образование, 7% на здравоохранение, 4% на науку — при условии соблюдения правильных региональных пропорций.





По мнению Г.А. Зюганова, и в Думе, и во фракции КПРФ не достаёт такого авторитета, как академик Алфёров. Геннадий Андреевич предложил делегировать представителя Академии наук в депутаты Госдумы. Этот орган представительной демократии нуждается в высококлассных специалистах, которые понимают суть науки, необходимость её связи с производством. Ведь поставленные Президентом России цели – войти в пятёрку передовых стран, достичь темпов роста национального продукта не ниже 3% в год, широко осваивать новые технологии, преодолеть бедность и остановить вымирание народа – требуют профессионального подхода. Г.А. Зюганов напомнил, что с 1991 г. наша страна только среди русского населения потеряла 20 млн человек, и сокращение его численности продолжается. Исчезает то ядро, которое собиралось тысячу лет. В советское время основой единства у нас были народнохозяйственный комплекс, общая идеология, однопартийная система. Сейчас всё это разрушено, людей объединяют только язык и некоторые культурно-исторические ценности, которые подвергаются ожесточённым нападкам, включая нашу Великую Победу.

Геннадий Андреевич вспомнил, как ему удалось убедить Ж.И. Алфёрова прочитать в Думе классические лекции, чего прежде никогда не бывало. Первая лекция называлась “Советские и американские атомные проекты. Новейшие изобретения на службе народного хозяйства”. Успех был ошеломляющий, негде было сесть, ведь помимо депутатов Думу ежедневно посещают 3–4 тыс. человек. Вторая лекция была посвящена теме “Наука и власть”. Третья касалась послевоенной деятельности А. Эйнштейна, на которого неизгладимое впечатление произвели последствия атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки – без какой-либо военной необходимости. Эти лекции были изданы большим тиражом и продолжают вызывать неизменный интерес, в том числе молодёжи.

4 октября 2018 г. Жорес Иванович опубликовал статью “И всё-таки, почему социализм?”, в которой доказывал, что без социальной справедливости общество снова столкнётся с большой войной, что необходимо думать о развитии современных технологий, внедрять их в жизнь, что только качественное образование, высокая культура и наука помогут человечеству решить стоящие перед ним проблемы.

Действительно, ситуация сейчас складывается во многом драматическая. Бедность охватила целые страны и регионы; появились новые болезни, которые не поддаются лечению и не боятся антибиотиков; ухудшается состояние окружающей среды; свирепствует терроризм. Всё очевиднее становится, заметил Г.А. Зюганов, что построенная по американскому образцу индивидуалистическая глобальная система не способна решить ни одной социальной проблемы. Перед лицом

этих вызовов человечество стало резко “леветь”, включая Соединённые Штаты. В лидеры выбивается социалистический Китай, который осуществил самую эффективную за последние 30 лет модернизацию. А Европейский Союз, напротив, на глазах начинает терять управляемость и разваливаться. Миру нужна другая система отношений, и она постепенно выстраивается. Какой она будет, во многом зависит от России, считает лидер КПРФ. Крепкая, стабильная, образованная, технологически успешная Россия способна повлиять на положение во всём мире.

Но пока ситуация в стране далека от желаемой. Темпы роста у нас в 3 раза ниже среднемировых, в то время как ресурсов сейчас больше, чем надо – 125 трлн руб. замороженных денег. Они не вкладываются в производство, не работают в науке, не помогают выживать гражданам. В этом году нам надо будет принимать очень ответственные решения, заключил Г.А. Зюганов.

К вопросам науки и вкладу Ж.И. Алфёрова в науку собравшихся вернул доктор физико-математических наук **С.В. Иванов**, директор Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН. Он рассказал о школе полупроводниковой гетероструктурной фотоники, которую Алфёров создал в Физтехе.

Когда Жорес Иванович пришёл в Физтех, там развивались исследования в области кремниево-германиевой силовой электроники, и он активно включился в эту работу, но его уже интересовали полупроводниковые свойства материалов. Эти исследования были инициированы в Физтехе и поддержаны лабораторией Д.Н. Наследова. В 1956 г. Б.В. Царенковым и А.А. Рогачёвым был создан первый диод на арсениде галлия, за что они вместе с коллегами из ФИАН получили Ленинскую премию. Тогда же появился новый технологический метод жидкофазной эпитаксии.

Эти предпосылки – полупроводники  $A^3B^5$ , новые технологии, диоды, излучатели, светодиоды – стимулировали Жореса Ивановича на поиск. Его идея – концепция гетеролазеров на двойной гетероструктуре, которую он развивал вместе с Р.Ф. Казариновым и параллельно с Г. Кремером в своём первом патенте, была началом пути. В конце 1960-х годов первые такие лазеры разрабатывались на фосфиде галлия. Что касается алюминия, то опасения вызывала слишком высокая способность этого материала к окислению, но совершенно случайно выяснилось (Жорес Иванович любил об этом рассказывать), что кристаллы алюминий-галлий-мышьяк стабильны на воздухе, и работа завершилась в направлении галлий-мышьяка.

Прорывом стала реализация двойной гетероструктуры молодыми сподвижниками Ж.И. Алфёрова Д.З. Гарбузовым, В.И. Корольковым, В.М. Андреевым, Е.Л. Портным и Д.Н. Третьяковым. Вслед за этим в течение нескольких лет предприятия “Гиредмет”, “Полус”, “Квант”

включились в работы по созданию полупроводниковых гетероструктур. Уже в 1986 г. станция “Мир” отправилась в космос с солнечной батареей, созданной в НПО “Квант” на основе разработок и технологий Физико-технического института. Эта батарея успешно использовалась на станции в течение 15 лет. То есть научные результаты практически мгновенно были восприняты промышленностью.

По словам С.В. Иванова, Алфёров обладал даром научного предвидения. Когда появились такие новые технологии, как молекулярная эпитаксия, МОС-гидридная эпитаксия, он организовал группу молекулярной эпитаксии у себя в лаборатории, куда, помимо своих сотрудников, пригласил выпускников кафедры оптоэлектроники Ленинградского электротехнического института, в том числе С.В. Иванова. Группе удалось создать двойную гетероструктуру, в которую были введены и градиентные волноводы, и периодические сверхрешётки. По существу, эта структура стала квинтэссенцией научной мысли Физтеха в то время, в ней соединились и технологии, и физика, и хороший эксперимент, её показатели оставались рекордными в мире в течение довольно длительного срока. Алфёров был очень доволен этим результатом. Чуть позже на базе этих достижений в группе В.М. Устинова начались исследования по созданию лазеров на квантовых точках. В 1994 г. были получены первые в мире результаты по стимулированному излучению индий-мышьяковых квантовых точек. Тогда же при взаимодействии с Берлинским техническим университетом удалось разработать первый инжекционный лазер на квантовых точках.

Сейчас в Физтехе активно развивается направление полупроводниковой фотоники, в рамках которого разрабатываются солнечные трёхпереходные каскадные батареи с КПД 30% для космических аппаратов и около 40% для наземного использования. Результаты этих разработок переданы в российскую компанию “Сатурн” — единственное предприятие, которое, базируясь на предложенной Физтехом технологии, выпускает солнечные панели для космических аппаратов с КПД примерно 29%. Такие работы планируется продолжать, используя теперь уже гибридные технологии МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии для повышения КПД и космических, и наземных солнечных элементов.

Другое направление деятельности Физтеха — мощные лазеры. Здесь тоже есть успехи, в частности, созданы телекоммуникационные лазеры на 1.55 мк, соответствующие мировому уровню, которые работают в непрерывном и импульсном режимах. Интересные результаты получены в области создания оптоволоконных фотонных трактов для передачи энергии и информации, и они уже сейчас предполагают практическое применение: мощные лазеры с излучением около 15 Вт с КПД 60% передают излучение по волокну, а фотоприём-

ники, расположенные в антенно-фазированной решётке, доставляют сигнал с частотой 10 МГц.

Активно развивается ультрафиолетовая полупроводниковая фотоника, которая базируется на молекулярной эпитаксии с плазменной активацией. Последние достижения получены в области квантовой фотоники, созданы однофотонные источники в широком спектральном диапазоне — от видимого до телекоммуникационного (1.3 мк). Иными словами, школа Алфёрова продолжает вести исследования, используя гетероструктуры в радиофотонике, солнечной энергетике, квантовой фотонике, мощных лазерах.

Член-корреспондент РАН В.М. Устинов ещё раз подчеркнул, что в центре внимания Жореса Ивановича всегда оставалась проблема обучения специалистов для науки. Венец его системы подготовки кадров, безусловно, — Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет, который носит его имя. Университет создавался во второй половине нулевых годов. Но ещё в начале 1970-х, когда группой Алфёрова уже были получены основные научные результаты, которые впоследствии привели к Нобелевской премии и были восприняты промышленностью, перед Жоресом Ивановичем во всей полноте встала проблема недостатка квалифицированных специалистов для нового направления — оптоэлектроники.

Предприняв гигантские административные усилия, он создал передовую для того времени форму обучения — базовую кафедру оптоэлектроники в Ленинградском электротехническом институте им. Ульянова-Ленина. Эта кафедра была создана совместным приказом-постановлением АН СССР и Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР в 1973 г. В соответствии с основными принципами её деятельности в течение первых двух лет студенты получали общее образование, начиная с третьего курса спецпредметы им читали ведущие учёные ЛФТИ, работы которых лежат в основе тех или иных областей современной науки и техники, с шестого семестра студенты проходили практику в лабораториях ЛФТИ. Среди учёных, которые читали лекции студентам, В.М. Устинов, помимо Ж.И. Алфёрова, назвал лауреата Ленинской и Государственной премий СССР А.А. Рогачёва, лауреата Ленинской премии В.Е. Челнокова, лауреата Ленинской и Государственной премий академик Б.П. Захарченко, лауреата Ленинской премии Б.В. Царенкова.

Кафедра выпускает специалистов уже на протяжении 43 лет. В Физтехе работают более 150 её выпускников, из них около 100 стали кандидатами наук, более 30 — докторами наук, четыре выпускника — членами-корреспондентами РАН. Выпускник кафедры Сергей Викторович Иванов ныне занимает пост директора Физико-техниче-



ского института. В 1987 г. Жорес Иванович и его сподвижники создали лицей “Физико-техническая школа” — единственное учебное заведение, входящее в систему Российской академии наук, одна из лучших физико-математических школ Санкт-Петербурга. Затем появился базовый факультет в Политехническом университете. Накопив опыт, Алфёров принял решение об организации академического университета, который в его концепции включает лицей “Физико-техническая школа” и вуз — Научно-образовательный центр нанотехнологий. В настоящее время Академический университет обладает статусом национального исследовательского университета. Он располагает тремя зданиями, включая лаборатории, гостиницу, общежитие для студентов. В его штате свыше 200 научных сотрудников и административный персонал — более 70 человек. Здесь работают 55 докторов наук, около 100 кандидатов наук, восемь членов-корреспондентов РАН и три академика. Важно отметить, что на одного преподавателя приходится всего три студента. Основные направления высшего образования — физика, нанотехнологии, нанобиотехнологии и биоинформатика.

В.М. Устинов отметил, что Академический университет располагает широчайшими возможностями для проведения фундаментальных и прикладных исследований, высокого уровня достигла и публикационная активность — примерно по две статьи на научного сотрудника в год, причём они хорошо цитируются. Университет проводит ряд получивших известность конференций, в том числе “Наноструктуры: физика и технологии”. Почётными докторами университета стали три нобелевских лауреата, премьер-министр Е.М. Примаков, лидеры российской электроники академики Ю.В. Гуляев, В.Б. Бетелин, Г.Я. Красников.

Своими воспоминаниями о Ж.И. Алфёрове поделился академик РАН **Ю.В. Гуляев**. Они познакомились в конце 1950-х годов, когда после изобретения транзистора Дж. Бардиным, У. Брайеном и У. Шокли начала бурно развиваться полупроводниковая электроника, ежегодно проводились всесоюзные и международные конференции. В 1968 г. в Москве на Международной конференции по физике полупроводников Гуляев и Алфёров познакомились с нобелевским лауреатом Уильямом Шокли, а в 1970 г., работая в Чикаго, — с нобелевским лауреатом Джоном Бардиным.

В начале 1970-х годов научные интересы Гуляева и Алфёрова сошлись на проблеме мобильного сотового телефона. Имея в виду тогдашний уровень электроники, приёмно-передающие устройства мобильной связи были очень громоздкими. Но благодаря тому, что Жорес Иванович со своей командой создали миниатюрный усилитель в гигагерцевом диапазоне частот на предложенной ими двойной гетероструктуре, а в Институте ра-

диотехники и электроники АН СССР, Институте физики полупроводников Сибирского отделения АН СССР, Физтехе и во ВНИИ физико-технических измерений были созданы миниатюрные фильтры на поверхностно-акустических волнах, приёмно-передающее устройство, то есть сотовый телефон, стало возможным поместить в мужской карман или дамскую сумочку.

Пройдёт ещё 20 лет, прежде чем в Москве зазвонит первый сотовый телефон, и это связано с другой ипостасью Алфёрова — его общественной деятельностью. В 1989 г. проходили выборы делегатов на Съезд народных депутатов СССР. Гуляев и Алфёров были избраны — один от Союза инженеров, другой от Академии наук. Гуляев стал председателем подкомитета по связи и информатике Комитета по транспорту, связи и информатике Верховного Совета СССР. Жорес Иванович вошёл в этот Комитет. Важнейшая задача, поставленная М.С. Горбачёвым перед подкомитетом, заключалась в разработке программы информатизации Советского Союза, прежде всего — современных систем телекоммуникации. А надо иметь в виду, что в то время, в 1989 г., в СССР на 100 жителей приходилось всего девять стационарных телефонов. По словам Ю.В. Гуляева, благодаря авторитету Ж.И. Алфёрова в мире, широчайшим контактам со специалистами в области радиоэлектроники и информатики его участие в подкомитете стало определяющим.

Подход отечественных учёных уже тогда базировался на четырёх принципах: цифровизация — 30 лет назад предлагалось ровно то, что по-настоящему начинает развиваться только сейчас; “волоконизация”, то есть использование световолоконных линий связи, одним из основных элементов которых является полупроводниковый гетеролазер, изобретённый Жоресом Ивановичем и его командой; “спутниковизация”, то есть максимальное использование в телекоммуникации искусственных спутников Земли; “сотовизация” — переход от стационарных телефонов к сотовым. Гуляев с Алфёровым объявили международный тендер по созданию сотовой телефонной связи в Москве. Выиграла его финская фирма “Нокиа”, и 30 октября 1989 г. в столице СССР зазвонил первый сотовый телефон. Информатизация России — один из нерукотворных памятников Жоресу Ивановичу Алфёрову, считает Ю.В. Гуляев.

Сегодня в России на 140 млн населения приходится более 300 млн мобильных телефонов, но, увы, почти все они зарубежного производства. И здесь нельзя не согласиться с тем, что сказал Жорес Иванович на II Съезде народных депутатов 14 декабря 1989 г.: “На основе самой материалистической в мире философии мы построили самую идеалистическую (в худшем смысле слова) в мире экономику”.

Воспоминания продолжил академик РАН **Р.А. Сурис**, который познакомился с Ж.И. Алфёровым в 1967 г. в зеленоградском Центре микроэлектроники. Жорес Иванович как хороший физик одновременно был очень хорошим прикладником, ведь его прикладные работы, которые создали базу современных информационных технологий, непосредственно связаны с физикой. Но умение связывать одно с другим — нетривиальное для физика качество. Ещё одна характерная черта Жореса Ивановича — он не боялся больших проектов, умел рисковать, причём большинство его смелых начинаний оказывались успешными. По мнению Р.А. Суриса, сам по себе процесс работы с гетероструктурами очень рискованный, в то время мало кто за это брался. Можно сказать, отчаянным проектом стала и организация Научно-образовательного центра, тем более в суровые 1990-е годы. Но Алфёрову всё удавалось.

Понимание того, что нужно развивать эпитаксиальную технологию, возникло в середине 1960-х годов. Поскольку для таких исследований надо иметь изощрённую аппаратуру и технологию, Алфёров обратился в Министерство электронной промышленности СССР, где в то время работал Сурис. Жорес Иванович неоднократно приезжал в Москву, пытаясь стимулировать разработку и создание установок для эпитаксиальной технологии, для которых тогда не было нужной электроники и аналитического оборудования. К сожалению, отечественные установки уступали иностранным, и до сих пор в основном используется оборудование компании “Рибер”.

Р.А. Сурис составил список слов, которые ассоциируются с именем Ж.И. Алфёрова. Это физико-технический факультет, наноструктуры, регулярные конференции “Наноструктуры: физика и технологии”, Центр физики гетероструктур в Физико-техническом институте, журнал “Письма в журнал технической физики”, редактором которого на протяжении многих лет был Жорес Иванович, блестящий человек и учёный.

Далее слово взял академик **А.Г. Забродский**. В 1968 г. студентом четвёртого курса он попал в сектор контактных явлений в полупроводниках, которым руководил Алфёров, где только что был создан полупроводниковый лазер на двойной гетероструктуре, который генерировал излучение при комнатной температуре. Царившее среди сотрудников приподнятое настроение, подъём трудно описать. Преддипломная, затем дипломная практика в секторе Алфёрова предопределила выбор Физтеха в качестве места работы.

А.Г. Забродский кратко сформулировал принципы, которые Жорес Иванович исповедовал в административном и научном руководстве. На первом месте — постановка крупных задач. Алфё-

ров не любил вязнуть в мелочах. Второе — он смело боролся за достижение поставленной цели, невзирая на препятствия, на ранг людей, которые ему противостояли. Третье — он был категорическим противником всяческого бюрократии и призывал всех заниматься реальными делами, не допускать мелочной опеки.

Вспоминая о проекте Научно-образовательного центра, который перерос в проект Академического университета, А.Г. Забродский сообщил, что деньги на строительство выделил В.С. Черномырдин, который хотел видеть Жореса Ивановича в своей партии в Госдуме. Это была общеинститутская стройка, царил энтузиазм, и в 1999 г. состоялось торжественное открытие Научно-образовательного центра, в котором первоначально располагался физико-технический факультет Физтеха и лицей “Физико-техническая школа”. В 2004 г. Жорес Иванович выделил НОЦ из состава ФТИ им. А.Ф. Иоффе со статусом независимого юридического лица, а в 2006 г. Алфёров ушёл с поста научного руководителя и председателя учёного совета института. Поводом послужил НОЦ, поскольку вариант его развития с созданием ассоциации организаций, включая Физтех, не был поддержан учёным советом.

А.Г. Забродский рассказал также о проектах, связанных с именем Алфёрова. Один из них — создание наземной солнечной энергетики в России, который завершился сооружением завода в Новочебоксарске производственной мощностью 173 МВт в год. Было организовано проектирование и строительство солнечных электростанций автономных энергокомплексов в разных регионах России. Разработкой и масштабируемой технологией занимались в Научно-техническом центре, созданном при ФТИ. Институт обеспечил этот центр кадрами, осуществлял подготовку специалистов для промышленного производства.

Другой проект — строительство НИОКР-центра. Физтех занимает ведущее место в стране в области нанотехнологий и технологий полупроводниковой фотоники. Но его слабое место — устаревшая инфраструктура и износ технологического оборудования, что должен восполнить НИОКР-центр. Проект уже осуществляется в течение почти 10 лет, он самый сложный из тех, что выпал на долю А.Г. Забродского. Дважды пришлось обращаться к Президенту страны, было несчётное количество постановлений и поручений Правительства, удалось добиться финансирования, и есть надежда, что в нынешнем году важный этап строительства центра будет завершён.

Последняя тема — Санкт-Петербургский научный центр РАН, который сейчас относится к ведению Минобрнауки России. Алфёров очень болезненно воспринимал эту ситуацию. В 2017 г. он предлагал вернуть центр в ведение Академии на-

ук, а в 2018 г. — организовать на его основе региональное отделение РАН. В настоящее время Президиум РАН реализует первый сценарий — воссоздание Санкт-Петербургского научного центра РАН как самостоятельного юридического лица. К сожалению, это наталкивается на серьёзное противодействие со стороны Минобрнауки.

Последняя встреча А.Г. Забродского с Ж.И. Алфёровым состоялась в декабре 2018 г., когда в Академическом университете отмечалась 74-я годовщина снятия блокады Ленинграда. Жоресу Ивановичу оставалось жить два с половиной месяца.

Завершая юбилейное заседание, академик РАН **А.М. Сергеев** заметил, что А.Г. Забродский затронул очень болезненную для академии тему — воссоздания Санкт-Петербургского научного центра РАН. По его словам, Президиум делает всё возможное. Более того, эта идея получила поддержку Президента страны с чётким указанием решить вопрос. Несмотря на это, Министерство науки и высшего образования РФ всячески про-

тиводействует воссозданию центра. А.М. Сергеев выразил надежду, что со сменой руководства министерству удастся принять правильное решение, тем более что есть все основания ожидать подписания соответствующего постановления Правительства РФ. Важно, чтобы Санкт-Петербургский национальный исследовательский академический университет — детище Алфёрова — стал составной частью Санкт-Петербургского научного центра РАН. Ведь 200 членов Академии наук работают в Питере. По мнению А.М. Сергеева, в будущем надо будет бороться за то, чтобы среди полномочий Академии наук числилась и образовательная деятельность.

Президент РАН поблагодарил всех выступавших за их готовность принять участие в заседании, посвящённом памяти академика Ж.И. Алфёрова, поделиться своими воспоминаниями и впечатлениями.

*Материалы юбилейного заседания президиума РАН  
подготовила к печати Г.А. ЗАЙКИНА,  
журнал “Вестник Российской академии наук”*

---

С КАФЕДРЫ  
ПРЕЗИДИУМА РАН

---

10 декабря 2019 г. состоялось заседание президиум РАН на тему “Коренные изменения наземных экосистем в России в XXI веке: вызовы и возможности”. С основным докладом выступил директор Ботанического сада-института ДВО РАН член-корреспондент РАН П.В. Крестов, а содокладчиками стали директор ФИЦ “Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова” доктор биологических наук Е.К. Хлесткина и директор Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН член-корреспондент РАН Н.В. Лукина. Докладчик начал с известной фразы, сказанной Леонардо да Винчи: “Мы больше знаем о движении небесных тел, чем о земле под ногами”. С тех пор прошло много времени. Теперь, конечно, мы больше знаем о “земле под ногами”. Наземные экосистемы — это наш дом, который сегодня, как утверждали участники заседания, стремительно меняется под воздействием климатических изменений и антропогенных факторов. К сожалению, не в лучшую сторону. Понять причину этих изменений и предложить меры по сохранению и рациональному использованию богатейших природных ресурсов, которыми располагает наша страна, — вот цель, которую поставили перед собой участники заседания.

*“Вестник РАН” публикует представленные академической аудитории доклады, а также материалы дискуссии, в которой участвовали доктор биологических наук Д.В. Гельтман, член-корреспондент РАН Ю.В. Плугатарь, кандидат биологических наук В.П. Упелник, И.В. Шмаков, доктор сельскохозяйственных наук Е.В. Журавлёва, доктор биологических наук А.А. Сирин, Ю.О. Лахтиков, академики РАН А.В. Адрианов, С.В. Рожнов, Ю.Ю. Дзедубадзе, Г.Г. Матишов.*

## КОРЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РОССИИ В XXI ВЕКЕ

© 2020 г. П. В. Крестов<sup>a,\*</sup>, К. А. Корзников<sup>a,\*\*</sup>, Д.Е. Кислов<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Ботанический сад-институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

\*E-mail: krestov@botsad.ru

\*\*E-mail: korzkir@mail.ru

\*\*\* E-mail: kislov@easydan.com

Поступила в редакцию 05.03.2020 г.

После доработки 05.03.2020 г.

Принята к публикации 19.03.2020 г.

Происходящие сегодня изменения наземных экосистем — лесов, болот, тундры, лугов, степей — в результате возрастающих антропогенных нагрузок и потепления климата всё в больших масштабах трансформируют эволюционно сложившуюся структуру растительного покрова России, что увеличивает экологические и экономические риски. Комплексное изучение всех компонентов и механизмов функционирования наземных экосистем позволит разработать подход к управлению природными ресурсами в условиях их интенсивной эксплуатации, сохранить генофонд и биоразнообразие, определить стратегию природопользования. При текущих изменениях климата именно



КРЕСТОВ Павел Витальевич — член-корреспондент РАН, директор Ботанического сада-института ДВО РАН. КОРЗНИКОВ Кирилл Александрович — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Ботанического сада-института ДВО РАН. КИСЛОВ Дмитрий Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Ботанического сада-института ДВО РАН.

состояние и нормальное функционирование наземных экосистем становится стратегически важным фактором стабильности, обеспечения среды обитания человека базовыми ресурсами (воздух, вода, пища) и экономического роста России.

**Ключевые слова:** наземная экосистема, растительность, флора, растительные ресурсы, изменение климата, антропогенное воздействие, экосистемный сервис, прогнозное моделирование.

DOI: 10.31857/S0869587320060067

Россия занимает значительную часть территории северной Евразии и располагается в пределах полярной, бореальной и умеренной природных зон с различными типами климата — от гиперокеанического (Командорские острова) до ультраконтинентального (Якутия) [1]. Разнообразие климата и геологического строения поверхности создаёт на территории нашей страны уникальную и весьма гетерогенную природную среду, которая поддерживает формирование редких по адаптациям растительных и флористических комплексов.

Северная Евразия благодаря последовательно выстроенной в XIX и XX вв. государственной политике рационального использования природных ресурсов в России [2] до сих пор остаётся хорошо сохранившимся анклавом необычайно богатого для северных широт биоразнообразия. Большая часть сибирской и дальневосточной Арктики, а также восточный сектор бореальной зоны находятся в пределах залегания вечной мерзлоты. Леса господствуют в растительном покрове России и представляют собой не только крупнейший в мире источник древесины, они обеспечивают важные экосистемные услуги — эффективное связывание атмосферного углерода, стабилизацию почв, регулирование водного цикла, поддержание высокого качества питьевой воды и воздуха, сохранение биоразнообразия.

## РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ РОССИИ

Биоразнообразие на территории нашей страны распределено неоднородно и характеризуется общим градиентом обеднения с юга на север. У южных границ выделяются три основных региональных центра биоразнообразия: Крымский, Северо-Кавказский и Маньчжурский, сформировавшиеся на основе средиземноморской, ирано-туранской и восточноазиатской флор соответственно. Они отличаются высоким уровнем видового эндемизма и богатейшим реликтовым генофондом [3], представляющими большой интерес для современной селекции хозяйственно ценных растений.

Наиболее сложно устроенные наземные экосистемы находятся на юге Дальнего Востока [4]. В отличие от других регионов РФ, они обладают рядом уникальных особенностей:

- растительный покров имеет непрерывную историю развития с палеоцена;

- адаптация видов, полученная в течение продолжительного времени в условиях контрастного климата, существенно увеличивает способность растений и растительного покрова в целом переживать долгие неблагоприятные периоды, вызванные климатическими изменениями, и возможность расширения ареала исходного вида;

- наземные экосистемы, особенно на юге региона, отличаются рекордным уровнем биоразнообразия, сложной структурной организацией и разветвлёнными трофическими цепями;

- восточная окраина региона располагается в зоне активного вулканизма, оказывающего заметное влияние на миграционные процессы и эволюционный отбор видов со специфическими адаптивными стратегиями.

Наземные экосистемы на территории нашей страны имеют огромный в мировом масштабе ресурсный потенциал и выполняют значимые экосистемные функции [5, 6], связанные со стабилизацией глобальных процессов в атмосфере, гидросфере, в том числе вечной мерзлоте.

Надо признать, что в последнюю четверть века растительный покров России фактически перестал быть объектом внимания Российской академии наук. Академическое сообщество больше сосредоточено на морских и океанических биомах, при этом богатейшие и уникальные с точки зрения эволюции и разнообразия населяющих организмов наземные экосистемы практически не являются предметом современных исследований. Представления о ресурсной значимости флоры так и не вышли за пределы концепций развития лесной отрасли, основанных на получении древесины от эксплуатации естественных, ранее не затронутых рубками лесных насаждений [7]. Наблюдаемое катастрофическое снижение доходов государства от эксплуатации лесов — лишь вершина айсберга. Настоящих потерь существенно больше. Они связаны с исчезновением и обеднением генофонда растений флоры России, уникальных по адаптационному потенциалу. Спектр приспособительных реакций видов растений, сконцентрированных в основных центрах биоразнообразия в Крыму, на Северном Кавказе, в южной Сибири и на Дальнем Востоке, чрезвычайно широк, поэтому они представляют особую ценность при создании форм растений с заданными свойствами для использования в сельском хозяйстве и экономике. На исследованиях адаптационных свойств генотипов



**Рис. 1.** Концепция планетарных границ Й. Рокстрёма: внутренний зелёный круг представляет предполагаемое комфортное пространство для девяти планетарных систем. Красные сектора — оценка текущего значения каждой переменной. Границы в трёх системах (скорость утраты биоразнообразия, изменение климата и вмешательство человека в азотный цикл) уже были превышены. Рисунок воспроизводится с оригинала, опубликованного Rockström et al. [9].

растений российской дальневосточной флоры сосредоточено внимание создаваемых и развиваемых в странах-соседях (Китай, Япония, Корея и США) мощных исследовательских центров, аналогов которым нет в России.

Сегодня численность населения планеты составляет 7.6 млрд человек, к 2030 г., по оптимистичным прогнозам, она вырастет до 8.6 млрд, к 2050 г. — до 9.8 млрд. При этом структура глобальной экономики показывает, что более 98% жизненно важных ресурсов так или иначе связано с функционированием именно наземных, а не морских и океанических экосистем [8]. Потребляя ресурсы, человечество, согласно концепции планетарных границ, предложенной в 2009 г. шведским учёным Йоханом Рокстрёмом и австралийцем Уиллом Стеффеном [9], вышло из зоны комфортной среды обитания по таким параметрам, как климатические изменения, потери биоразнообразия и изменение биогеохимических циклов (рис. 1). Следует отметить, что один из важнейших ресурсов — пресная вода — также относится к продуктам функционирования наземных экосистем.

### КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА И ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Существенные трансформации растительного покрова, вызванные человеком, происходят в зонах наиболее комфортного для его проживания

климата — в пределах широт от 30 до 50° севернее и южнее экватора Земли. Увеличение населения и урбанизация вызовут существенное повышение спроса на ресурсы, включая питьевую воду и продовольствие. Как следствие, произойдут значимые изменения в сельскохозяйственной инфраструктуре, а затем — и в функционировании наземных экосистем.

Ожидается, что колебания климата уже в ближайшие 50–70 лет повлекут за собой изменение условий, в которых наземные экосистемы в северной Евразии функционировали в последние 10 тыс. лет, что приведёт к созданию качественно иной среды обитания для многих организмов. Это негативно скажется на природных экосистемах и ухудшит их функции. Особенно заметно данный процесс будет проявляться на российском Дальнем Востоке, климатические условия которого характеризуются контрастными градиентами, а более половины территории располагается в зоне древней вечной мерзлоты. Напротив, высокие температуры могут стимулировать сельское хозяйство в северных регионах России: откроются перспективы вовлечения новых земель в прибыльное производство продуктов питания с мощным экспортным потенциалом. Возрастающее антропогенное влияние на экосистемы и быстро развивающиеся экономики соседних государств (Китай, Южная Корея, Япония) также могут представлять угрозу для природных экосистем России, увеличивая эксплуатацию ресурсов региона, что в перспективе будет сопровождаться ухудшением качества воды и воздуха из-за трансграничных переносов загрязнений.

При текущих изменениях климата состояние и нормальное функционирование именно наземных экосистем становится стратегически важным фактором глобальной стабильности, обеспечения среды обитания человека базовыми ресурсами (воздух, вода, пища) и экономического роста России.

Перечислим главные проблемы, общие для соседних с РФ государств, расположенных в пределах 30–50° с.ш. и обладающих благоприятными для населения климатическими ресурсами:

- сведение естественной растительности на огромной территории Восточной и Средней Азии, Малой Азии и Европы, приводящее к уменьшению биоразнообразия, в том числе генетического;
- усиливающееся воздействие на растительность поллютантов, переносимых воздушным путём из индустриальных и лишённых растительности регионов в виде аэрозолей и взвесей;
- прогрессирующее опустынивание внутренних регионов Азиатского континента;
- необратимые климатогенные изменения биоты;
- трансформация водного баланса материков;



- биотические поражения растительности, особенно искусственных плантаций, инвазионными вредителями и патогенами;

- бесконтрольное распространение генетически модифицированных растений.

В сложившихся обстоятельствах нам необходимо срочно разворачивать комплексные полноценные исследования наземных экосистем, прежде всего их главного продукционного компонента — фотосинтезирующего растения, с тем, чтобы иметь возможность его изучения на всех уровнях — от молекулярного до экосистемного, включая вопросы долговременного хранения генофонда. Экспериментальная база исследований с географически распределённым парком научного оборудования может быть сформирована за короткое время в научных институтах ботанического профиля, расположенных в разных природно-климатических зонах России. Таким образом мы сможем вернуть в нашу страну контроль над уникальными генетическими ресурсами мировой флоры и вовлечь их в экономику. Главная стратегическая задача в условиях быстрого изменения среды — создание сети региональных центров по исследованию растений в рамках разработок биотехнологий ускоренного воспроизводства лесных и сельскохозяйственных ресурсов, выявление адаптивных генотипов хозяйственно значимых растений и видов, находящихся под угрозой исчезновения, устойчивых к неблагоприятным климатическим условиям, а также сохранение генетического разнообразия растительной биоты как основы биобезопасности России.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Изучение фотосинтезирующего растения занимает особое место с точки зрения понимания закономерностей формирования надорганизменных биологических систем и среды обитания человека — экосистем и биосферы. Эта роль обусловлена способностью растительного покрова к формированию первичной продукции, дающей начало трофическим сетям и, в конечном счёте, определяющей энергетический баланс биосферы и обеспечивающей её стабильное функционирование. Кроме того, знание закономерностей формирования надорганизменных биологических систем применительно к сельскому хозяйству открывает возможности для развития существующих агротехнологий с целью повышения эффективности сельскохозяйственного производства при сниженной экологической нагрузке на окружающую среду.

Важной для исследований, мониторинга, управления и прогноза продукционного процесса в условиях бурного развития цифровых технологий становится классификация растительно-

сти, являющаяся по сути математической формализацией растительного покрова. Отсутствие единой национальной классификационной системы единиц растительности делает невозможным систематизацию растительных сообществ и фактически исключает прогнозные оценки национальной ресурсной базы в условиях меняющейся среды.

Создание качественных моделей климатогенной и антропогенной динамики биоты наземных экосистем на разных уровнях её организации — амбициозная задача, которая требует:

- ликвидации пробелов в современных знаниях о разнообразии и функционировании экосистем;

- внедрения новых, в том числе экспресс-методов индикации реакции биоты на изменение климата;

- разработки оригинальных подходов, позволяющих интегрировать результаты разрозненных исследований разнообразия, динамики и ресурсного потенциала растительных экосистем;

- проведения таксономических ревизий и выявления видового состава неизученных и малоизученных районов;

- интеграции усилий специалистов разных направлений.

Моделирование структуры экосистем необходимо для изучения и прогноза пространственного распределения продукционных свойств видов растений в каждой растительной зоне. Поскольку на разных уровнях пространственно-временной организации экосистем их интеграция контролируется различными факторами среды, принципы моделирования разнотипных экосистем также различны.

Для моделирования *на локальном уровне* используются системы постоянных пробных площадей, где, как правило, производится индивидуальная оценка и картографирование размещения деревьев. Использование дендрохронологического подхода позволяет ответить на вопросы, связанные с изучением индивидуального развития деревьев, реакцией различных видов на изменение среды, историей формирования древостоев.

При моделировании структуры растительного покрова локального уровня могут быть использованы переменные, описывающие локальный и региональный климат, а также топографические данные, рассчитываемые на основе глобальных цифровых моделей рельефа.

Биоклиматические ареалы видов растений и единиц растительности *на региональном уровне* определяются путём решения уравнений, независимыми переменными которых являются географические данные по распространению растений или материалы наземных наблюдений экосистем, а зависимыми — климатические параметры, полученные на основе разработанных моделей климата [10].

Для моделирования структуры растительного покрова в качестве промежуточного этапа необходимо оценить потенциальные места распространения ключевых видов, слагающих растительный покров, в существующих климатических условиях. Это даст возможность определить вклад среды и антропогенных факторов в ограничение современного ареала ключевых видов. Применение ранее разработанных сценариев климатических изменений позволяет оценить потенциальное распространение вида при различных климатических состояниях. Моделирование осуществляется в несколько этапов, включая построение статистических моделей с использованием алгоритмов для определения современного потенциального распространения вида или типа экосистем, верификацию моделей, интегрирование палеоданных для оценки исторического распространения ключевых видов и построение их потенциальной дигрессии или экспансии [11].

Чтобы понять механизм динамики ареалов видов и экосистем, необходимо установить ситуации в критические климатические эпохи: 140 тыс. лет назад (межледниковье), 21 тыс. лет назад (максимум последнего оледенения в плейстоцене), 6 тыс. лет назад (голоценовый оптимум). Для этих целей часто используют источник данных для экологического моделирования WorldClim с набором производных биоклиматических характеристик. Прогноз распространения видов и экосистем в регионе глубиной до 2100 г. разработан для ситуаций, актуальных при реализации климатических сценариев RCP 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 [12]<sup>1</sup>.

Фактор времени (климатогенные и неклиматогенные изменения за последние годы) в моделях растительного покрова учитывается при использовании находящихся в открытом доступе данных спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниковых аппаратах Terra и Aqua (США). Структурные модели растительного покрова на ландшафтном и региональном уровнях верифицируются на основе временных серий (до 40 лет) космических снимков, полученных с помощью американских и европейских спутников дистанционного зондирования Земли Landsat, Sentinel, Ikonos и др., созданных в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды. Сопоставление биоклиматических и ландшафтных моделей растительного покрова с его реальной

структурой в известный временной промежуток даёт возможность установить пределы толерантности различных видов и растительных комплексов к изменяющимся климатическим условиям.

## КЛИМАТОГЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

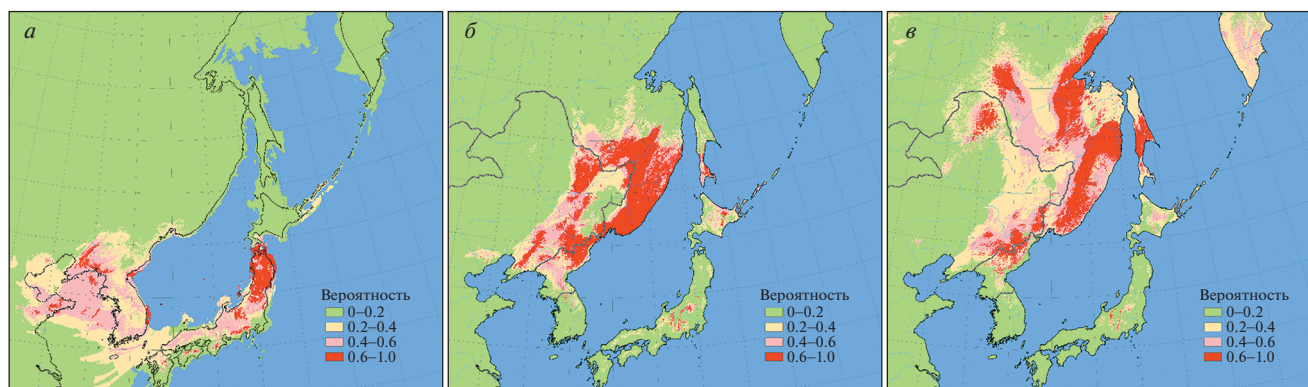
Ретроспективное и прогнозное моделирование распространения основных хозяйственно ценных видов древесных растений и разных типов экосистем современной России показало две тенденции развития биоты при возможной реализации пессимистических (RCP8.5) и оптимистических (RCP2.6) климатических сценариев [13]. С одной стороны, модели с глубиной прогноза 70 лет показывают улучшение условий для роста основных лесообразователей и расширение их биоклиматических ниш. С другой стороны, местообитания в южных частях ареала, представлявшие места для сохранения биоты во время максимума последнего оледенения, с высокой вероятностью станут по климатическим показателям непригодными для поддержания популяций с древним генофондом. На этом фоне интерес представляют потенциальные иммигранты — те виды растений, для которых северные границы их обитания в ближайшие десятки лет станут по климатическим параметрам благоприятными для развития в том числе и на территории России, а также представители патогенной биоты, ранее не проявлявшие активности в регионе.

В умеренной зоне Евразии будут выражены два вектора миграций: для мезофитов открывается северное направление (рис. 2), для ксерофитов — распространение во внутриконтинентальные экосистемы. Таким образом, флора умеренной Евразии начнёт существенно меняться, что, с одной стороны, приведёт к генетическому обеднению аборигенных популяций, в том числе лесообразующих видов, а с другой — к усилению чужеродного компонента флоры. Кроме того, изменения неизбежно коснутся сохраняемых *in situ* диких родичей культурных растений, что потребует обновлённой интегральной стратегии *ex situ/in situ* сохранения и защиты исчезающих видов как источника генофонда для будущих адаптированных сортов растений с улучшенными свойствами и залога продовольственной безопасности.

Вместе с тем потепление климата может открыть новые возможности для перехода от использования биологических ресурсов естественных экосистем к плантационному хозяйству. В разворачивающейся климатической ситуации необходимо акцентировать внимание на концепции модулируемой миграции видов — потенциальных эдификаторов экосистем, создавать инфраструктуру и исследовательскую базу для длительного сохранения генофонда хозяйственно ценных

<sup>1</sup> Исследователям доступны модельные расчёты изменения климата, сформированные в 2013–2014 гг. в рамках международного проекта CMIP5 при подготовке Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата. В проекте CMIP5 представлены сценарии RCP (Representative Concentration Pathway), предполагающие климатические изменения на ближайшую (до 2035 г.) и долгосрочную (до 2100 г.) перспективу. На основе прогнозов сценарии получили стандартизованные обозначения: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5.





**Рис. 2.** Биоклиматические ареалы *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc. во время последнего ледникового максимума (а), в настоящее время (б) и в 2070 г. (в), согласно климатическому сценарию RCP8.5, с указанными вероятностями присутствия. Для расчёта биоклиматических ниш использованы самые информативные из более чем 30 биоклиматических параметров: тепловой индекс Кира — сумма среднемесячных температур выше 5°C; холодовой индекс Кира — сумма среднемесячных температур ниже 5°C (в абсолютных значениях); индекс континентальности — разница средних температур самого тёплого и самого холодного месяцев; осадки за период с среднемесячной температурой выше 0°C; осадки за период с среднемесячной температурой ниже 0°C. Значения биоклиматических индексов рассчитывались по данным WorldClim v.1.4 [10]. Модель, основанная на текущих климатических параметрах, была экстраполирована на климатические условия LGM (Last Glacial Maximum — максимум последнего оледенения) и условия, прогнозируемые на 2070 г. В обоих случаях использовалась климатическая модель CCSM4.

видов растений, в том числе не представленных на территории России, и разрабатывать прогнозные сценарии развития экономики, базирующейся на биологических ресурсах наземных экосистем.

Потепление климата, наблюдаемое сейчас на всей территории России и особенно ярко выраженное в её северо-восточной части, имеет свои плюсы: новые территории могут стать пригодными для земледелия и развития сельскохозяйственного производства, ориентированного на получение продуктов с высокой добавленной стоимостью (рис. 3). В то же время потепление климата и сельское хозяйство увеличивают потребление воды, ведут к эрозии и деградации почв, росту агроэкологических рисков, связанных с появлением новых сорняков, вредителей и патогенов. Сельское хозяйство не только будет трансформироваться с изменением климата, но также существенно увеличит влияние на региональный климат через усиливающиеся выбросы парниковых газов. Прогнозные сценарии развития земледелия и других направлений агропромышленного комплекса в меняющемся климате необходимы для улучшения условий ведения сельского хозяйства и продовольственной безопасности. Это позволит снизить негативное воздействие сельскохозяйственного производства на окружающую среду.

Возрастающее вовлечение наземных экосистем в экономику сопровождается не только обеднением ресурсной базы, но и существенным и деятельным участием человека в трансформации биогеохимических и биогеоклиматических циклов, которые обеспечивают стабильность наземных экосистем и биосферы в целом. Это про-

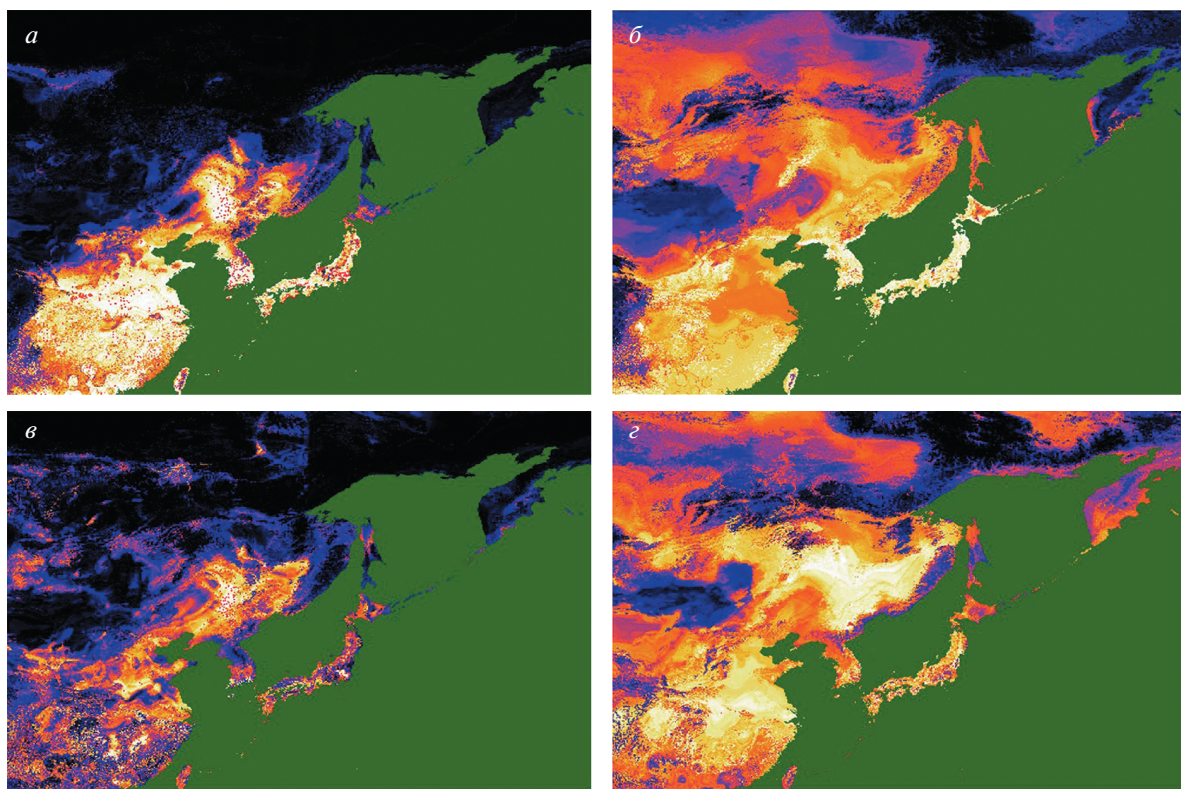
исходит на фоне фундаментальной перестройки среды обитания человека, зависящей от текущей динамики климата.

Усиление интенсивности лесных пожаров, вызванных потеплением, и изменение практик землепользования будут иметь важные обратные связи по биогеохимическим циклам и приведут к ухудшению качества воздуха и локального климата [14]. Чтобы понимать последствия данных процессов, необходимо развивать прогнозные моделирование с целью достижения баланса между расширением сельхозугодий и сохранением естественной растительности.

## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СОХРАНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Изменение климата, повсеместно регистрируемое в умеренной зоне Евразии, — один из основных вызовов, с которыми Россия столкнётся уже в ближайшее десятилетие. Увеличение числа погодных аномалий с интенсивными и частыми стихийными бедствиями — наводнениями, засухами, тайфунами — факт очевидный. В этих условиях возникает потребность в разработке региональных сценариев изменений климата по сезонам с глубиной прогноза до 10 лет при высоком пространственном разрешении климатических моделей для выработки оптимальной политики регионального развития.

Возможное увеличение эмиссии метана при деградации вечной мерзлоты и возросшая интенсивность лесных пожаров, несомненно, скажутся на функционировании региональных экосистем и дальнейшем развитии городских поселений.



**Рис. 3.** Биоклиматические ареалы наиболее распространённых на Дальнем Востоке России сельскохозяйственных культур: сои (а, б) и пшеницы (в, г) в настоящее время (а, в) и в 2070 г. (б, г), согласно климатическому сценарию RCP8.5. Чем светлее область, тем оптимальнее условия для возделывания культуры. Пояснения по деталям моделирования — на рисунке 2.

Сейчас данные об эмиссиях и концентрациях парниковых газов, загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, в России представлены фрагментарно и недостаточны для достоверной оценки состояния парниковых газов в атмосфере. Необходимо создать интегрированную сеть наблюдений, которая включала бы мониторинг экологических круговоротов и комплексный контроль загрязнений.

Сегодня изменение климата, наряду с антропогенной деятельностью, признаётся главной причиной сокращения биологического разнообразия. Ожидается, что потепление будет способствовать миграции видов, в том числе высокопатогенных организмов, в высокие широты, а также появлению чужеродных видов. Следует оценить негативные и/или позитивные последствия этих процессов для природных экосистем с возможным изменением экосистемных сервисов, в частности, для отраслей, связанных с переработкой природных ресурсов и туризмом.

Необходимо организовать принципиально новый вид оперативного обслуживания экономики России по природным зонам, основанный на разработке сезонных краткосрочных прогнозов изменений климата с использованием данных мо-

нитторинговых сетей, спутниковых наблюдений и прогнозных моделей. Сценарии изменения климата должны быть включены в стратегическое экономическое планирование регионов и страны в целом. Влияние климата на качество воздуха и воды, а значит, на здоровье человека должно контролироваться, анализироваться и моделироваться комплексно.

Связывание атмосферного углерода российскими лесами обеспечит значительный вклад в достижение целей Парижского соглашения, предусматривающего обязательство России сократить выбросы углекислого газа в атмосферу. Механизмы углеродной торговли (торговли выбросами) могут быть включены в региональную и федеральную политику. В связи с этим особое значение приобретает разработка надёжных методов учёта углерода, а также конкретных правил управления углеродным рынком.

Для достижения перечисленных задач следует нарастить региональный университетский потенциал, внедряя в структуру интегрированных учебных планов вузов климатическую науку, которая требует междисциплинарного подхода, и усиливая направления фундаментальной биологии и геофизики.

Таким образом, чтобы обеспечить экономический и экологический суверенитет России, необходимо:

- провести инвентаризацию и мониторинг флоры и микобиоты;
- разработать технологию инвентаризации лесных экосистем и национальную классификацию растительности;
- усовершенствовать нормативно-правовую базу (в частности, принять федеральный закон о растительном мире, новый “Лесной кодекс Российской Федерации”), регулиющую рациональное использование растительных ресурсов, особенно лесных;
- развивать методы оценки и прогноза динамики лесных экосистем и ареалов ресурсно значимых видов растений в условиях климатических изменений;
- системно использовать диких родичей культурных растений в селекционной работе;
- сохранять мировой генофонд хозяйственно ценных растений на территории РФ для его последующего применения в национальной экономике;
- разрабатывать новые научные программы для воспроизводства научных кадров в области антропогенного и климатогенного изменения наземных экосистем.

Изучение растительного покрова и его изменений может быть результативным только при переходе профильных институтов к сетевой форме организации науки, которая подразумевает использование ресурсов нескольких учреждений, что обеспечит распределение экспериментальной базы по разным климатическим регионам России.

Особую роль в изучении наземных экосистем играют функционирующие под научно-методическим руководством РАН ботанические сады, которые стали не только уникальными площадками для сохранения генофонда растительных ресурсов страны, но и научными центрами по инвентаризации и исследованию растительной биоты [15]. Именно здесь открываются возможности для системного воспроизводства научных открытий. Генетические ресурсы растений, сохраняемые в ботанических садах и других интродукционных пунктах — дендрологических парках, специализированных сельскохозяйственных институтах и питомниках, муниципальных и частных ботанических собраниях, представляют единую национальную коллекцию, распределённую по всей территории Российской Федерации с её широким разнообразием климатических зон. Этот огромный потенциал должен быть максимально использован для изучения и сохранения растительных ресурсов России, оценки функционирования наземных экосистем и прогнозирования их развития.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Krestov P.V., Omelko A.M., Nakamura Y.* Phytogeography of higher units of forests and krummholz in North Asia and formation of vegetation complex in the Holocene // *Phytocoenologia*. 2010. V. 40. № 1. P. 41–56.
2. *Sheingauz A., Nilsson S., Shvidenko A.* 1995. Russian forest legislation, IIASA Working Paper (WP-95-45). Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1995. P. 1–26.
3. *Hobohm C., Janišová M., Steinbauer M. et al.* Global endemics-area relationships of vascular plants // *Perspectives in Ecology and Conservation*. 2019. V. 17. № 2. P. 41–49.
4. *Krestov P.V.* Forest vegetation of Easternmost Russia (Russian Far East) // *Forest vegetation of Northeast Asia*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. P. 93–180.
5. *Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T. et al.* Boreal forest health and global change // *Science*. 2015. V. 349. № 6250. P. 819–822.
6. *Bukhareva E., Zamolodchikov D., Grunewald K.* National assessment of ecosystem services in Russia: Methodology and main problems // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 665. P. 1181–1196.
7. *Newell J.P., Simeone J.* Russia's forests in a global economy: how consumption drives environmental change // *Eurasian Geography and Economics*. 2014. V. 55. № 1. P. 37–70.
8. *Lade S.J., Steffen W., de Vries W. et al.* Human impacts on planetary boundaries amplified by Earth system interactions // *Nature Sustainability*. 2020. V. 3. P. 119–128.
9. *Rockström J., Steffen W., Noone K. et al.* A safe operating space for humanity // *Nature*. 2009. V. 461. P. 472–475.
10. *Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L. et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2005. V. 25. P. 1965–1978.
11. *Kadambari D., Morelli T.L., Tenan S.* Multi-species occupancy models: review, roadmap, and recommendations // *Ecography*. 2020. V. 43. P. 1–13.
12. *Collins W.D., Ramaswamy V., Schwarzkopf M.D. et al.* Radiative forcing by well-mixed greenhouse gases: Estimates from climate models in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report (AR4) // *Journal of Geophysical Research*. 2006. V. 111. P. D14317.
13. *Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A. et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment // *Nature*. 2010. V. 463. P. 747–756.
14. *Di Paola A., Valentini R., Santini M.* An overview of available crop growth and yield models for studies and assessments in agriculture // *Science of food and agriculture*. 2016. V. 96. № 3. P. 709–714.
15. *Edwards C.E., Jackson P.W.* The development of plant conservation in botanic gardens and the current and future role of conservation genetics for enhancing those conservation efforts // *Molecular Frontiers Journal*. 2019. V. 3. № 1. P. 44–65.



## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ: СТРАТЕГИЯ СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

© 2020 г. Е. К. Хлесткина<sup>а,\*</sup>, И. Г. Чухина<sup>а,\*\*</sup>

<sup>а</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений  
им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: director@vir.nw.ru

\*\*E-mail: i.chukhina@vir.nw.ru

Поступила в редакцию 25.02.2020 г.

После доработки 05.03.2020 г.

Принята к публикации 19.03.2020 г.

В статье рассматриваются проблемы сохранения и использования растительных ресурсов в условиях климатических изменений и социально-экономических вызовов. Особое внимание уделяется вопросам сохранения диких родичей культурных растений и староместных сортов как источников генетического разнообразия, утраченного в современном генофонде культурных растений сначала в процессе доместикации, а затем в ходе внедрения в производство интенсивных сортов.

**Ключевые слова:** генетическое разнообразие, дикие родичи культурных растений, доместикация *de novo*, ландрасы, климатические факторы, продовольственная безопасность, селекция следующего поколения, староместные сорта, феномика, цифровой севооборот.

DOI: 10.31857/S0869587320060043

Нестабильность климата и, как следствие, усиление воздействия биотических и абиотических факторов на производственные посевы и ценные растительные ресурсы, сохраняемые в местах их обитания, а также потребность в снижении нагрузки химическими средствами защиты растений на окружающую среду и необходимость обеспечивать население достаточным количе-

ством разнообразных и высококачественных продуктов питания требуют новой стратегии, нацеленной на согласованную работу всей цепочки от сохранения генетических ресурсов растений и конструирования генотипов будущих сортов до производства сельскохозяйственной продукции, её хранения, транспортировки и переработки.

Сегодня для устойчивого развития земледелия необходим комплексный подход, базирующийся на анализе привязанных к конкретному месту и времени больших данных о почвенных и климатических характеристиках, урожайности, о возделываемых культурах и их заболеваниях. Причём эти сведения должны соотноситься с таксономическими и генетическими характеристиками сортов растений, почвенной микрофлоры, патогенной флоры, насекомых-вредителей, сорных растений, а также с применяемыми агротехнологиями. Это позволит выстраивать долгосрочные и среднесрочные прогнозные сценарии, важные для выбора правильной стратегии селекции, применять методы математического моделирования к конструированию генотипов будущих сортов, подбору сортового разнообразия, агротехнологий возделывания и планирования севооборота, в том числе цифрового, с целью стабильного сельскохозяй-



ХЛЕСТКИНА Елена Константиновна — доктор биологических наук, директор ВИР им. Н.И. Вавилова. ЧУХИНА Ирина Георгиевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ВИР им. Н.И. Вавилова.

зяйственного производства в конкретном регионе Российской Федерации. Сам по себе сбор больших данных тоже потребует существенной цифровизации и автоматизации оценочных методов. Он тесно связан с развитием высокопроизводительного фенотипирования (феномики) [1].

Потенциальный сдвиг к северу границ возделывания южных культур открывает благоприятную перспективу расширения круга культивируемых видов растений на территории России, что может способствовать социально-экономическому развитию сельской местности за счёт производства высокорентабельных новых культур, а также развитию растениеводства в зоне рискованного земледелия для обеспечения населения этих регионов свежими и полезными для здоровья продуктами питания.

Однако процессы миграции южных культур на север будут неизбежно сопровождаться продвижением в этом направлении и представителей патогенной биоты, что необходимо иметь в виду при подготовке и использовании прогнозных сценариев. Кроме того, следует учитывать, что залогом успеха “осеверения” южных культур становятся не только увеличивающаяся сумма положительных температур в вегетационный период и смягчающиеся условия во время покоя, но и адаптация к изменению других абиотических факторов, в первую очередь длины светового дня. Представители южной флоры — это, как правило, растения “короткого дня”, не приспособленные к длинному фотосинтезу. Данное свойство с учётом маркер-контролируемого отбора, геномной селекции и селекционных технологий следующего поколения, например, генетического редактирования [2], можно использовать как для адаптации южных культур к длинному световому дню, так и, наоборот, для ограничения распространения на север инвазивных видов растений.

Следует отметить и вызовы технологического характера, которые, вероятно, придётся учитывать в будущем при допуске новых сортов к производству. Ввиду повышенной сложности контроля за генетическими изменениями, вносимыми в геном растения при помощи современных технологий генетического редактирования, потребуются разработка и внедрение специализированных систем интеллектуального анализа, прогнозирования и выявления скрытых “нежелательных записей” в геноме сортов, предлагаемых к производству, а также в геноме линий, передаваемых в отечественные селекционные центры в рамках трансфера технологий.

Очевидно, что достижение стабильных урожаев в изменчивых условиях внешней среды будет базироваться на разнообразии, в том числе сортовом, возделываемых культур. Широкое развитие, вероятно, получит разработанная в Националь-

ном центре зерна им. П.П. Лукьяненко адаптивная система земледелия, предполагающая так называемую мозаику сортов [3].

До недавнего времени приоритетными показателями, оцениваемыми в ходе государственных сортоиспытаний, были признаки продуктивности. Сегодня ситуация меняется, больше внимания уделяется качеству. Важными задачами станут как повышение качества продуктов массового потребления, в первую очередь хлеба, который пока производится с использованием улучшителей [4], так и создание сортов для производства продуктов специализированного питания — функционального, детского, спортивного, диетического и т.д. [5].

Генетические ресурсы — это тот инструмент, который позволяет селекции отвечать на вызовы, связанные с климатическими изменениями, появлением новых патогенов, потребностью в увеличении объёмов сельскохозяйственной продукции и улучшении её качества. Так, генетическое разнообразие мировой культурной флоры, сосредоточенной в старейшем генетическом банке планеты — ВИР им. Н.И. Вавилова, позволило в своё время существенно расширить ареалы возделывания различных культур, интродуцировать новые культуры, освоить зону рискованного земледелия.

В соответствии с Конвенцией о биологическом разнообразии [6] генетические ресурсы — это представляющий фактическую или потенциальную ценность генетический материал растительного, животного, микробного или иного происхождения, содержащий функциональные единицы наследственности. Речь идёт как о живущих, так и о законсервированных материалах, например, гербарных образцах.

Дикие родичи культурных растений (ДРКР) и ландрасы (ЛР, староместные сорта традиционных культурных растений) — важные компоненты генетических ресурсов растений. Они имеют стратегическое значение на национальном, региональном и международном уровнях, в первую очередь для обеспечения продовольственной безопасности и экологической устойчивости в XXI в. Дикие родичи культурных растений — это популяционно-видовые системы дикорастущих растений, которые находятся в эволюционно-генетическом родстве с культурными растениями, входящими с ними в один род [7, с. 3, 8]. Генофонд ДРКР содержит разнообразие, утраченное культурными формами при прохождении через “бутылочное горлышко” доместикации (одомашнивания).

Староместные сорта традиционных сельскохозяйственных культур — это динамические популяции культурных растений, которые могут быть идентифицированы и, как правило, имеют

местное название, лишены формального сортового усовершенствования, адаптированы к местным условиям на территории культивирования и связаны с традиционными системами сельского хозяйства [9]. В отличие от ДРКР, они используются в частном садоводстве и огородничестве, реже — в сельском хозяйстве.

Дикие родичи культурных растений и ландрасы обладают полезными свойствами, которые могут адресно применяться при выведении селекционных сортов, соответствующих изменяющимся условиям окружающей среды и требованиям рынка. Однако сохранением данной группы биоразнообразия пренебрегали и сейчас её игнорируют большинство организаций, работающих в области охраны окружающей среды, а также связанных с сельским хозяйством. Многообразие ДРКР и ЛР угрожают бесхозяйственное отношение человека к окружающей среде и потеря генетического разнообразия. Если дикие родичи культурных растений находятся под угрозой в результате деградации и фрагментации естественной среды обитания, то ландрасы пострадали от замены на современные сорта и изменений практики землепользования — распространения монокультур, применения пестицидов и т.п. Всё, что связано с изучением процессов обеднения генофонда культурных растений и проблемой сохранения староместных сортов, в нашей стране, да и во всём мире, относится к разряду новой проблематики. Вместе с тем повсеместно под натиском коммерческих, однородных в генетическом плане сортов стремительно уменьшаются площади, занятые под староместными сортами, а многие из них исчезли навсегда. Локальные войны и межэтнические конфликты с последующей гуманитарной помощью от мирового сообщества в виде новых селекционных сортов также способствуют их исчезновению [10].

Было показано, что в процессе селекции, начиная с 1920–1930-х годов, из генофонда мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) у итальянских сортов исчезло 14 уникальных аллелей генов запасных белков зерна, у сербских — 5, у саратовских — 7, у краснодарских — 8, у озимых сортов северных регионов России — 40. Генотип сорта Безостая 1 и его потомков в значительной мере определяет генофонд краснодарских, сербских и итальянских сортов, а генотипы Мироновской 808 и Саратовской 29 соответственно — озимых и яровых сортов, возделываемых в средней полосе и Сибири [11–13]. Таким образом, можно говорить об эрозии генофонда мягкой пшеницы и утрате уникальных коадаптированных генных комплексов, сформировавшихся в течение длительного времени.

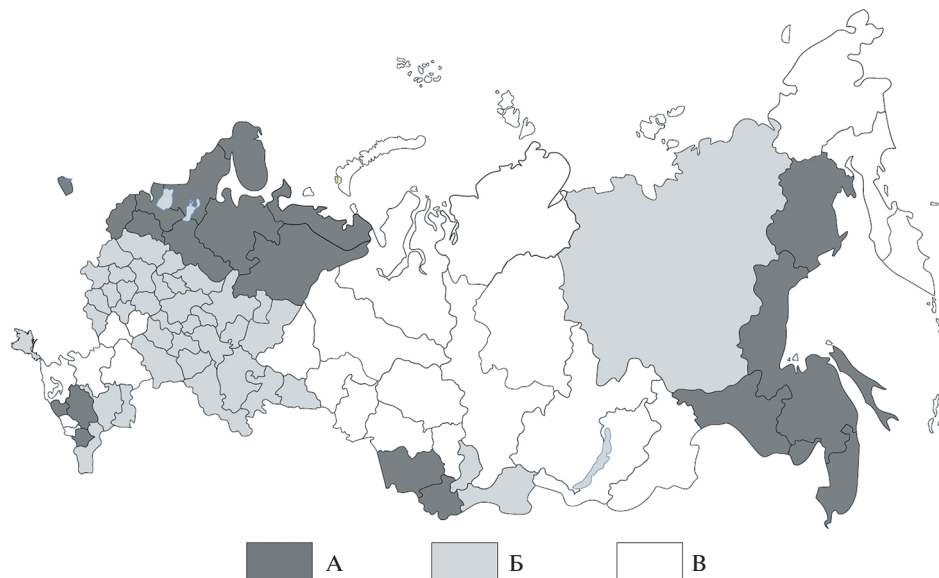
Историко-политические особенности развития нашей страны кардинально повлияли на

сохранение генофонда староместных сортов, в связи с чем большинство из отечественных ландрасов утрачено в местах их формирования, но многие сохранились в коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова.

История изучения разнообразия культурных растений и их диких родичей в России насчитывает более 100 лет, начиная с фундаментальных трудов Р.Э. Регеля, Н.И. Вавилова и их последователей. На первых этапах внимание исследователей было приковано к выяснению происхождения отечественного и мирового разнообразия культурных растений, изучению ближайших их родичей, непосредственно давших начало тем или иным культурам или участвовавшим в их генезисе. Н.И. Вавилов считал, что в основе углублённого познания эволюции культурных растений лежит исследование их диких родичей.

Николай Иванович отмечал трудоёмкость такой работы, требующей “сбора многих тысяч образцов по одному и тому же виду” — живых форм и “полного гербария” [14]. Почему так много? В данном случае интерес представляет максимальное разнообразие каждого вида, причём наиболее интересными могут быть не типичные представители, а редкие с аллельными вариантами генов, которые как раз и ценны для селекции. В этом состоит специфика собрания генетических ресурсов растений, в отличие от коллекций, создающихся с целью представить таксономическое разнообразие и сохранить некоторые типичные образцы каждого таксона. Они важны для процесса обучения и популяризации, но не могут заменить коллекции генетических ресурсов — основы создания будущих сортов.

Начало исследованиям по инвентаризации разнообразия ДРКР были положены В.В. Никитиным и О.Н. Бондаренко (Коровиной), опубликовавшими первую сводку по их разнообразию на территории Советского Союза [15]. В дальнейшем О.Н. Коровина заложила основы методических подходов и разработала ряд практических мер, направленных на сохранение генофонда. Именно она впервые в нашей стране предложила сохранять разнообразие ДРКР как в местах их естественного произрастания (*in situ*), так и в коллекциях (*ex situ*) [16]. Такой подход сейчас представлен как комплементарная стратегия сохранения *ex situ/in situ* [8, 17, с. 126.]. *Ex situ* включает сбор образцов, их передачу и хранение за пределами первоначальных мест обитания популяций данного вида — в генетических банках, коллекциях ботанических садов, питомниках. *In situ* — сохранение, регулирование и мониторинг популяций отдельных видов в их естественной среде обитания или там, где они приобрели свои отличительные характеристики. Сохранение генофонда ландрасов в местах их произрастания у



**Рис. 1.** Изученность разнообразия диких родичей культурных растений России: *A* — разнообразие ДРКР проинвентаризировано, даны рекомендации по сохранению их генофонда; *B* — составлен только предварительный список ДРКР; *V* — разнообразие ДРКР не проинвентаризировано

фермеров в традиционном сельском хозяйстве, садоводстве или сельскохозяйственных системах — *on farm* сохранение — предполагает устойчивое управление генетическим разнообразием местных сортов сельскохозяйственных культур и связанных с ними диких и сорных видов и форм [8].

Несмотря на то, что стратегия сохранения разнообразия диких родичей культурных растений и ландрасов имеет региональные отличия и зависит от природных условий, сведений о современном разнообразии генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, финансовых и человеческих ресурсов, заинтересованности различных правительственных учреждений и общественных организаций, она подразумевает принятие ряда общих мер, направленных на успешное сохранение многообразия ДРКР и ЛР. К ним относятся:

- инвентаризация разнообразия ДРКР и ЛР и подготовка национальных кадастров;
- сопоставление имеющихся оценок угроз генофонду ДРКР и ЛР;
- определение приоритетных для сохранения таксонов ДРКР и ЛР;
- таксономический и эколого-географический анализ приоритетных ДРКР и ЛР;
- молекулярно-генетический анализ приоритетных ДРКР и ЛР;
- анализ недостатков (ГЭП-анализ) — определение пробелов *in situ* и *ex situ* сохранения.

Сегодня сотрудники Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова продолжают исследовать разнообразие диких родичей культурных растений с целью создания единой национальной программы по сохранению их генофонда *in situ*, которая учитывает природные и экономические особенности России. Её положения разрабатываются на основе более чем векового опыта ВИР им. Н.И. Вавилова в этой области и современных международных практик. Предлагаемая стратегия состоит из нескольких взаимосвязанных блоков:

- инвентаризация разнообразия диких родичей культурных растений России;
- выбор объектов (таксонов или популяций), приоритетных к сохранению;
- выбор территорий для сохранения *in situ*;
- разработка рекомендаций по мониторингу и менеджменту для разных объектов сохранения *in situ*.

В нашем институте идёт инвентаризация диких родичей культурных растений, применяемых в сельском хозяйстве страны, а именно зерновых, овощных, плодовых, ягодных культур, которые обеспечивают продовольственную безопасность и используются как пища для людей и корм для животных, а также технических растений — источников растительных масел, волокон, каучука. Предварительный список ДРКР сельскохозяйственных культур насчитывает 1701 вид из 49 семейств и 175 родов. Наибольшее число видов относятся к семействам *Rosaceae* (491 вид), *Fabaceae* (273), *Rosaceae* (177), *Alliaceae* (106). Максималь-

ное число ДРКР содержат роды *Allium* L. (106 видов), *Poa* L. (103), *Festuca* L. (82), *Rosa* L. (65), *Lathyrus* L. (62). Анализ видов ДРКР по типу использования показывает, что несомненное лидерство принадлежит кормовым растениям — 398 видов, далее идут продовольственные (плодовые, ягодные и овощные) — 346.

В результате географического анализа выяснилось, что наибольшее число ДРКР — 868 видов — произрастает в пределах Европейской части России, из которых 152 вида, распространённых в нашей стране, ограничиваются только её европейской частью, а 18 являются эндемиками данной территории (*Agropyron tanaiticum* Nevski, *Agrostis korschaginii* Senjan.-Korcz., *Avena aemulans* Nevski, *Rosa microdenia* Mironova, *Lotus zhegulensis* Klovov и др.). На российском Кавказе, наиболее богатом во флористическом отношении, встречаются 766 видов ДРКР. Дикие родичи культурных растений на российском Дальнем Востоке имеют свои отличительные черты: из 606 видов более трети (223) произрастает только там. В Восточной Сибири обитает 564 вида ДРКР. Меньше всего их сконцентрировано в Западной Сибири (544). Ревизия генофонда диких родичей культурных растений России ещё далека от завершения, степень его изученности представлена на карте-схеме (рис. 1).

Анализ разнообразия ДРКР, используемых в сельскохозяйственном производстве, по степени участия в селекционном процессе показал, что 222 вида представлены в культуре, ещё 72 — как источники генов или подвои. Таким образом, в сельскохозяйственном производстве находится чуть более 2% фитогаенофонда страны. Современные генетические технологии [2] позволяют в ускоренном виде проводить доместикацию (*de novo*) диких родичей [18, 19], что расширяет возможности применения ДРКР в практической селекции и многократно повышает ценность этого генофонда.

Нестабильность климата, новые биотические и абиотические факторы стресса в местах обитания ДРКР не способствуют сохранению генофонда. Его постоянный мониторинг и своевременное принятие решений по переходу от *in situ* к *ex situ* в отношении видов, находящихся под угрозой, — ещё один элемент стратегии сбережения генетических ресурсов в Российской Федерации. Разнообразие методов сохранения *ex situ* [20], дублирование, для которого можно объединить усилия научно-исследовательских университетов страны под эгидой сетевой отечественной коллекции генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей, — это способ надёжного обеспечения продовольственной безопасности страны.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного бюджетного проекта 0662-2019-0005.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афонников Д.А., Генаев М.А., Дорошков А.В. и др. Методы высокопроизводительного фенотипирования растений для массовых селекционно-генетических экспериментов // Генетика. 2016. № 7. С. 788–803.
2. Колчанов Н.А., Кочетов А.В., Салина Е.А. и др. Состояние и перспективы использования маркер-ориентированной и геномной селекции растений // Вестник РАН. 2017. № 4. С. 348–354; Kolchanov N.A., Kochetov A.V., Salina E.A., Pershina L.A., Khlestkina E.K., Shumny V.K. Status and Prospects of Marker-Assisted and Genomic Plant Breeding // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 87. № 2. P. 125–131.
3. Романенко А.А. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы. Краснодар: ЭДВИ, 2005.
4. Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отмахова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки “зерно — мука — хлеб” // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 4. С. 511–527; Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Usenko N.I., Otmakhova Yu.S. Prospective applications of molecular genetic approaches to control technological properties of wheat grain in the context of the “grain — flour — bread” chain // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. V. 20. № 4. P. 511–527.
5. Хлесткина Е.К., Усенко Н.И., Гордеева Е.И. и др. Маркер-контролируемое получение и производство форм пшеницы с повышенным уровнем биофлавоноидов: оценка продукции для обоснования значимости направления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 5. С. 545–553. Khlestkina E.K., Usenko N.I., Gordeeva E.I., Stabrovskaya O.I., Sharfunova I.B., Otmakhova Y.S. et al. Evaluation of wheat products with high flavonoid content: justification of importance of marker-assisted development and production of flavonoid-rich wheat cultivars // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. V. 21. № 5. P. 545–553.
6. Convention on biological diversity. Rio de Janeiro. 1992. June 05. United Nations, 1992.
7. Дикие родичи культурных растений России. Каталог мировой коллекции ВИР / Сост. Т.Н. Смекалова, И.Г. Чухина. СПб.: ГНЦ РФ ВИР им. Н.И. Вавилова, 2005.
8. Maxted N., Ford-Lloyd B.V., Hawkes J.G. Plant Genetic Conservation: The *in situ* Approach. London: Chapman & Hall, 1997.
9. Negri V., Maxted N., Veteläinen M. European Landrace Conservation: an Introduction // Bioversity Technical Bulletin. 2009. № 15. P. 1–22.



10. *Алексанян С.М.* Агробιοразнообразие и геополитика. СПб.: ГНЦ РФ ВИР им. Н.И. Вавилова, 2002.
11. *Новосельская-Драгович А.Ю., Крупнов В.А., Сайфулин Р.А., Пухальский В.А.* Динамика генетического разнообразия саратовских сортов мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. (по глиадинкодирующим локусам) за 80-летний период научной селекции // Генетика. 2003. № 10. С. 1338–1346.
12. *Новосельская-Драгович А.Ю., Фисенко А.В., Имашева А.Г., Пухальский В.А.* Сравнительный анализ динамики генетического разнообразия по глиадинкодирующим локусам среди сортов озимой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., созданных за 40-летний период научной селекции в Сербии и Италии // Генетика. 2007. № 11. С. 1478–1486.
13. *Хлесткина Е.К., Салина Е.А., Шумный В.К.* Генотипирование отечественных сортов мягкой пшеницы с использованием микросателлитных (SSR) маркеров // Сельскохозяйственная биология. 2004. № 5. С. 44–52.
14. *Vavilov N.I.* Wild progenitors of the fruit trees of Turkestan and the Caucasus and the problem of the origin of fruit trees // Report and Proceedings of the IX<sup>th</sup> International Horticultural Congress. London, 1930. London, 1931. P. 271–286.
15. *Никитин В.В., Бондаренко О.Н.* Дикie сородичи культурных растений и их распространение на территории СССР (конспект). Л.: [ВИР], 1975.
16. *Алексанян С.М., Пономаренко В.В., Бурмистров Л.А. и др.* Современные методы и международный опыт сохранения генофонда дикорастущих растений (на примере диких плодовых). Программа развития ООН в Казахстане. Алматы, 2011.
17. Природный генофонд дикорастущих родичей культивируемых растений флоры СССР и его охрана (аннотированный перечень) / Сост. О.Н. Коровина. Л.: ВИР, 1986.
18. *Хлесткина Е.К.* Геномное редактирование как машина времени, или Доместикация за пару лет // Наука из первых рук. 2016. № 5–6. С. 72–75.
19. *Khan M.Z., Zaidi S.S., Amin I., Mansoor S.* A CRISPR way for fast-forward crop domestication // Trends Plant Sci. 2019. V. 24. № 4. P. 293–296.
20. *Börner A., Khlestkina E.K.* Ex situ genebanks – seed treasure chambers for the future // Russian J. Genet. 2019. V. 55. № 11. P. 1299–1305.

## ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ И ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

© 2020 г. Н. В. Лукина

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия*

*E-mail: lukina@cepl.rssi.ru*

Поступила в редакцию 15.03.2020 г.

После доработки 18.03.2020 г.

Принята к публикации 25.03.2020 г.

В статье, подготовленной по материалам доклада на заседании президиума РАН 10 декабря 2019 г., речь идёт о возможностях и проблемах развития российской лесной биоэкономики замкнутого цикла, которая рассматривается как эффективный ответ на современные глобальные вызовы. Представлены инициированные Научным советом РАН по лесу концепции научно-технических программ “Экологические и социально-экономические угрозы деградации лесов России в условиях глобальных изменений и пути их предотвращения” и “Оценка и пути предотвращения рисков возникновения кризисных ситуаций в лесах при интенсификации лесного хозяйства”, а также проект концепции новой редакции федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации”.

**Ключевые слова:** глобальные вызовы, леса, биоэкономика замкнутого цикла, биоразнообразие, экосистемные услуги.

**DOI:** 10.31857/S0869587320060080

Индустриальная эпоха, которая привела к экономическому, демографическому росту и технологическому прогрессу, строилась на базе линейной модели экономики, характеризующейся малоэффективным использованием ископаемого сырья. Это вызвало деградацию окружающей среды, масштабы которой растут беспрецедентными темпами. Драйверами глобальных перемен служат рост населения, глобализация, урбанизация, миграция, потери биоразнообразия и изменения климата.

Согласно статистическим источникам, в том числе материалам Всемирного банка, в 1960 г. население Земли составляло 3 млрд человек, сегодня — около 7.78 млрд, а к 2050 и 2100 гг. прогно-

зируется его рост до 9.8 и 11 млрд соответственно. В последние десятилетия процесс глобализации благодаря научно-технологическим достижениям значительно ускорился, вследствие чего мир стал более взаимосвязанным, чем раньше. Ярко выражен нарастающий тренд урбанизации: предполагается, что к 2050 г. в городах будет проживать более двух третей населения планеты, тогда как сейчас доля городских жителей не превышает 40%, а в начале XIX в. составляла всего 2%.

Эти тенденции отражают процессы внутренней миграции, которая увеличивается, в том числе в России, год от года: уже десять лет назад количество внутренних мигрантов во всём мире составляло 740 млн человек [1]. Возрастают темпы международной миграции: по сведениям ООН, в 2019 г. количество международных мигрантов на планете достигло 272 млн человек. Движущими силами этого процесса становятся не только политические, экономические, социальные и демографические факторы, но и природные — состояние окружающей среды.

Урбанизация приводит к возрастающим нагрузкам на городскую среду, а интенсификация сельского и лесного хозяйства вызывает истощение почв. Развитие промышленности, сельского и лесного хозяйства сопровождается загрязнением окружающей среды и потерями биоразнообра-



ЛУКИНА Наталья Васильевна — член-корреспондент РАН, директор ЦЭПЛ РАН, председатель Научного совета РАН по лесу.

зия, которое постоянно меняется на протяжении истории Земли. На основе геологических и палеонтологических находок зафиксировано шесть “великих массовых вымираний”. Учёные полагают, что мы находимся в середине седьмого [2]. Многие массовые вымирания совпадают с резкими изменениями климата и уровня моря, периодами усиленного вулканизма, падением крупных астероидов. Сейчас на Земле обитает 8.7 млн видов растений и животных. За 100 следующих лет может исчезнуть почти половина всех видов [3]. Основные причины — деградация и потеря экосистем вследствие изменения землепользования, распространение инвазивных видов, несбалансированное управление и нещадная эксплуатация природных ресурсов, антропогенное влияние на биогеохимические циклы [4].

Особое внимание уделяется биогеохимическому циклу углерода, поскольку углекислый газ и метан относятся к парниковым газам. Согласно данным погодной обсерватории на горе Мауна Лоа (Гавайи), концентрация углекислого газа в воздухе с марта 1958 г. по ноябрь 2018 г. возросла с 333 до 406 ppm, в среднем за год она увеличивалась примерно на 2 ppm. При этом следует учитывать и другие парниковые газы, в том числе самый активный — водяной пар, а также озон, сульфурилфторид, галоуглероды и оксид азота. С возрастанием концентраций парниковых газов связывают глобальные изменения климата. Согласно Пятому оценочному докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в период с 1880 по 2012 г. средняя глобальная температура повысилась на 0.85°C. Вследствие потепления и таяния ледников к 2065 г. среднемировой уровень моря увеличится на 24–30 см, а к 2100 г. — на 40–63 см по сравнению с 1986–2005 гг. По мнению экспертов, последствия изменения климата будут сохраняться на протяжении нескольких столетий, даже если выбросы парниковых газов полностью прекратятся. Превышение пороговых показателей, ведущее к необратимым изменениям в эко- и климатической системе нашей планеты, уже произошло. Основная цель Парижского соглашения 2015 г. — не допустить превышения глобальной среднегодовой температуры на планете к 2100 г. более чем на 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем.

В сентябре 2015 г. Генеральная Ассамблея ООН утвердила резолюцию “Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года”, построенную на принципе “никого не оставлять без внимания”. Этот документ содержит 17 целей устойчивого развития и подчёркивает целостный подход к их достижению. Среди путей к намеченным целям и наиболее эффективных ответов на глобальные вызовы названо развитие биоэкономики замкнутого цикла. По сути, речь идёт об экономике,

которая использует возобновляемые биологические ресурсы суши и моря для производства продовольствия, биоматериалов, биоэнергии и биопродуктов. Базовая концепция биоэкономики — природный капитал, из которого люди получают не только продукты, но и широкий спектр услуг, называемых экосистемными [5].

В России, которая относится к странам с богатыми биоресурсами, существуют предпосылки для развития биоэкономики замкнутого цикла. Биотехнологии у нас были признаны одним из ключевых направлений инновационного развития российской экономики. В апреле 2012 г. Правительство РФ утвердило Комплексную программу развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года, разработанную под руководством академиков РАН М.П. Кирпичникова и В.О. Попова. Создана Технологическая платформа БиоТех2030, одна из основных задач которой — объединение представителей бизнеса, науки, государства и гражданского общества для создания новейших биотехнологий, продуктов и услуг. Однако пока доля нашей страны на мировом рынке биотехнологий не превышает 0.1%, и в последнее время на российском венчурном рынке доля этого сектора сокращается, в то время как в развитых странах биоэкономика набирает темпы.

В биоэкономике замкнутого цикла ключевую роль играют биоразнообразие и экосистемные услуги. Под экосистемными услугами принято понимать все выгоды, которые люди получают от природы [6], или природное богатство, природные блага, природный капитал, всю систему жизнеобеспечения, всё, что человек получает от природы [5]. В российских классификациях выделяют четыре группы функций биологического разнообразия, близких к понятию экосистемных услуг: производственные (продукты питания, сырьё для отраслей экономики), средообразующие (поддержание биосферных процессов на Земле и формирование благоприятных для жизни человека условий), информационные (хранение и накопление в результате эволюции информации о структуре и функционировании биологических систем) и духовно-эстетические (влияние природы на развитие культуры и мировоззрение людей) [7, 8]. Под руководством академика РАН Д.С. Павлова разработана концепция экологического природопользования [9, 10]. В её основу положен принцип приоритетного сохранения средообразующих функций биотических сообществ и всего разнообразия живых организмов планеты. Концепция предусматривает переход от стратегии интенсивного потребления природных ресурсов к экономической модели поддержания механизмов природной регуляции среды, способной обеспечить устойчивое развитие цивилизации.

В международных классификациях [6, 11, 12] выделяют четыре категории услуг: обеспечивающие (древесина, волокна, недревесные продукты, в том числе пищевые и лекарственные, пресная вода), регулирующие (регулирование климата, гидрологического режима), культурные (рекреация, духовное обогащение) и поддерживающие (почвообразование, фотосинтез). Сегодня как никогда актуально оценить связь между биоразнообразием и мультифункциональностью экосистем, а также взаимозависимость экосистемных услуг в условиях комбинированного влияния природных и антропогенных факторов. Необходимо понять, при каких условиях возникают синергия и конфликты между экосистемными услугами, каким образом усиливать синергию и избегать конфликтных ситуаций. Не менее важно определить ценности регулирующих и поддерживающих экосистемных услуг и формировать их рынки. Согласно существующим оценкам, глобальный экологический ущерб составляет 7 трлн долл. в год, то есть 11% глобальной экономики. Вклад в этот ущерб 3 тыс. мировых компаний, в том числе энергетических, составляет 35%. От обезлесения мир теряет экологических услуг на сумму 2–5 трлн долл. в год [5].

Ключевой игрок биоэкономики — лесной сектор. Леса — самые распространённые наземные экосистемы нашей планеты, местообитание для более половины известных видов растений и животных — выполняют важнейшие жизнеобеспечивающие функции. Около 380 млн лет назад температура воздуха на Земле была на 10 градусов выше, а концентрация углекислого газа — в 10 раз больше [13]. Леса, которые сегодня так стремительно уничтожаются, в то время способствовали снижению концентрации углекислого газа и сделали нашу планету комфортной для жизни.

Особая роль в сохранении мирового биоразнообразия лесов и выполнении ими экосистемных функций принадлежит России, на долю которой приходится 22% всех мировых лесных ресурсов. Анализ материалов спутникового мониторинга и результатов стационарных наземных наблюдений показывает, что с начала текущего столетия наблюдается заметное сокращение лесного покрова России [14], обусловленное комбинированным влиянием природных и антропогенных факторов, к которым относят изменения климата, пожары, промышленное загрязнение, массовое увеличение численности насекомых, включая их инвазивные виды, грибные и бактериальные болезни, истощительное использование лесов, нерациональное ведение лесного хозяйства, связанное с низким уровнем внедрения новых научных знаний. Для развития лесной биоэкономики замкнутого цикла (circular forest-based bioeconomy) необходимо устойчивое управление лесами.

К важнейшим направлениям этой биоэкономики относятся:

- экосистемные услуги лесов, механизмом и провайдером которых является биологическое разнообразие;
- лесная индустрия в биоиндустрии (деревянное домостроение, продукты из древесины, порубочных остатков, отходов, целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, экстрактивные вещества, продукты фармацевтики);
- безопасная “умная” упаковка из бумаги и волокон, продукты гигиены и ухода за здоровьем;
- древесные волокна взамен волокон из хлопка, для роста которого требуется много воды, удобрений и пестицидов;
- новые энергетические решения, продукты биоэнергетики.

В России развитие лесной биоэкономики замкнутого цикла, позволяющей создавать рабочие места в городах и сельских поселениях, сдерживается рядом факторов. Среди них:

- отсутствие национальной стратегии развития биоэкономики;
- низкий уровень развития биотехнологий и мизерная доля России на мировых рынках биотехнологий;
- отсутствие объективного сравнительного анализа устойчивости цепочек создания добавленной стоимости на основе лесной биомассы, с одной стороны, и ископаемого топлива/минерального сырья — с другой;
- отсутствие у людей, принимающих решения, глубокого понимания реальной ценности биоразнообразия, поддерживающих и регулирующих лесных экосистемных услуг;
- отсутствие оценки одновременного предоставления лесами множества экосистемных услуг, синергии и компромиссов между ними;
- отсутствие достоверной информации о лесах;
- действующая, согласно принятой редакции “Лесного кодекса РФ”, модель истощительного использования лесных ресурсов (“добыча брёвен”);
- низкий уровень финансовой поддержки государством и бизнесом научных проектов и программ, нацеленных на развитие лесной биоэкономики;
- слабая осведомлённость общества о выгодах и преимуществах лесной биоэкономики замкнутого цикла.

Для продвижения концепции лесной биоэкономики и её реализации Научный совет РАН по лесу инициировал создание специальных научных программ. Сейчас с участием десятков академических институтов и высших учебных заведе-

ний разработаны концепции комплексной научно-технической программы “Экологические и социально-экономические угрозы деградации лесов России в условиях глобальных изменений и пути их предотвращения” и программы научно-технического сотрудничества Союзного государства “Оценка и пути предотвращения рисков возникновения кризисных ситуаций в лесах при интенсификации лесного хозяйства”, созданной совместно с учёными Национальной академии наук Республики Беларусь.

Перечислим основные направления этих программ:

- разработка методов и технологий оценки и мониторинга ресурсного потенциала и экологического состояния лесов с использованием данных наземного и дистанционного мониторинга;
- разработка методов и технологий оценки и мониторинга биоразнообразия и экосистемных услуг лесов и взаимосвязей между ними с использованием данных наземного и дистанционного мониторинга;
- развитие методов и технологий охраны и защиты лесов;
- разработка методов прогнозирования динамики лесов в условиях комбинированного действия антропогенных и природных факторов;
- разработка методов и технологий воспроизводства и повышения продуктивности лесов на основе естественных процессов и интенсивных методов лесовыращивания;
- изучение, сохранение и рациональное использование лесных генетических ресурсов России;
- адаптация лесов и лесного хозяйства в условиях изменений климата;
- биорефайнинг растительного сырья;
- разработка теоретических основ управления и экономики лесного хозяйства в условиях частного лесопользования;
- анализ устойчивости цепочек создания добавленной стоимости на основе лесной биомассы;
- разработка подходов к оценке влияния лесов на здоровье людей;
- разработка образовательных лесных программ и курсов.

Для реализации комплексных научно-технических лесных программ необходимы:

- междисциплинарная кооперация — получение знаний и разработка новых методов и технологий посредством интеграции таких наук, как лесоведение, почвоведение, биогеохимия, экология, геоботаника, зоология, микробиология, органическая химия и биохимия, генетика, статистическое и математическое моделирование, ди-

станционное зондирование Земли, экономика, политология, социология и др.;

- межведомственное взаимодействие Минобрнауки РФ, Минприроды РФ, Минэкономразвития РФ, Минэнерго РФ, Минпромторга РФ;
- взаимодействие науки, бизнеса и власти;
- международное партнёрство.

Для создания лесной биоэкономики замкнутого цикла важны как разработка и реализация новых научно-технических программ, так и развитие нормативно-правовой базы, создание новой редакции федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации”. Научный Совет РАН по лесу инициировал и координировал создание проекта концепции новой редакции “Лесного кодекса РФ”, основная идея которого — переход лесного хозяйства от модели истощительного лесопользования в естественных лесах к модели лесовыращивания целевых древесных пород и обеспечения баланса между экосистемными услугами. Концепция предусматривает решение проблемы сохранения биоразнообразия и устойчивости лесных экосистем в условиях глобальных изменений с применением двух подходов к лесопользованию на землях лесного фонда: сегрегация/зонирование/сохранение естественных экосистем (segregation/land sharing/rewilding) и интеграция/совместное использование земли/землепользование с участием человека (integration/land sparing/human intervention) [15]. Предлагается изменить существующее в России зонирование лесного фонда по целевому назначению, вместо трёх зон ввести четыре:

- эксплуатационные леса с экстенсивным ведением лесного хозяйства;
- эксплуатационные леса с интенсивным ведением лесного хозяйства;
- защитные леса;
- леса дикой природы.

Такое деление позволит внедрять на ограниченных территориях модель интенсивного лесного хозяйства, ориентированную на лесовыращивание целевых пород, в том числе создание плантаций. В защитных и эксплуатационных лесах с экстенсивным ведением лесного хозяйства предусматривается выделение участков леса высокой природоохранной ценности (HCV — High Conservation Value Forests), при этом леса дикой природы остаются на территориях, где практически нет лесопользования и доминируют природные процессы. Анализ информации по обеспечению экосистемными услугами бореальных лесов Евразии [16] показывает, что внедрение модели интенсивного лесного хозяйства на больших территориях, как, например, в Швеции, неизбежно

приведёт к потерям старовозрастных лесов — ре-  
фугиумов биоразнообразия и хранителей огром-  
ных запасов углерода, в том числе почвенного.

\* \* \*

Сохранение лесов России в условиях совре-  
менных глобальных вызовов, к которым относят  
рост населения Земли, глобализацию, урбаниза-  
цию, миграцию, изменения климата, — приори-  
тетная задача государства. Леса — хранители био-  
разнообразия, они обеспечивают нас не только  
древесиной и недревесными продуктами, но и  
чистым воздухом, водой, регулируют климат и  
гидрологический режим, защищают от наводне-  
ний и выполняют многие другие функции. Лес-  
ные ресурсы относятся к возобновляемым и при  
условии разумного управления лесами, нацелен-  
ного на сохранение биоразнообразия и обеспече-  
ние баланса между всеми экосистемными услуга-  
ми, могут быть неистощими.

Эффективным ответом на современные гло-  
бальные вызовы служит лесная биоэкономика за-  
мкнутого цикла, развитие которой требует, с од-  
ной стороны, непрерывного обеспечения сырьем  
(биомассой) для производства продовольствия,  
биоматериалов, биоэнергии и биопродуктов, а с  
другой — сохранения и восстановления лесов и  
биоразнообразия. Для успешного решения этой  
двуединой задачи необходима междисциплинар-  
ная кооперация учёных в рамках комплексных  
научно-технических программ, взаимодействие  
науки, бизнеса и власти, а также межведомствен-  
ная кооперация и международное партнёрство.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках проекта FP7 ERA — Net  
Sumforest-POLYFORES при финансовой поддержке  
Министерства науки и высшего образования РФ (уни-  
кальный идентификатор RFMEFI61618X0101).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Migration and Global Environmental Change. Future Challenges and Opportunities. Final Project Report. London: The Government Office for Science, 2011.
2. Rampino M.R., Shen S.-Z. The end-Guadalupian (259.8 Ma) biodiversity crisis: the sixth major mass extinction? // *Historical Biology*. 2019. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1658096>
3. Naeem S., Li S. Biodiversity enhances ecosystem reliability // *Nature*. 1997. V. 390. P. 507–509.
4. Louman B., Cifuentes M., Chacon M. REDD+, RFM, development, and carbon markets // *Forests*. 2011. V. 2. № 1. P. 357–372.
5. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги. Человек и природа. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы; Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБН РАН; Центр экологической политики России, 2015.
6. Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington: World Resources Institute MEA, 2005.
7. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России. М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2002.
8. Букварева Е.Н., Замолотчиков Д.Г. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016.
9. Павлов Д.С., Букварева Е.Н. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества // *Вестник РАН*. 2007. № 11. С. 974–986.
10. Павлов Д.С., Стриганова Б.Р., Букварева Е.Н. Экологическая концепция природопользования // *Вестник РАН*. 2010. № 2. С. 131–140.
11. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. Malta: Progress Press, 2010.
12. The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). 2020. Version 5.1. <https://cices.eu>
13. Palahi M., Nasi R., Simons T. Open Letter to Heads of States on the need for the Earth Forest Summit. 2019. <https://www.efi.int/articles/open-letter-heads-states-need-earth-forest-summit>
14. Исаев А.С., Барталев С.А., Лупян Е.А., Лукина Н.В. Спутниковое зондирование Земли — уникальный инструмент мониторинга лесов России // *Вестник РАН*. 2014. № 12. С. 1073–1079.
15. Meerbeek K., Muys B., Schowanek S.D., Svenning J.-C. Reconciling conflicting paradigms of biodiversity conservation: human intervention and rewilding // *BioScience*. 2019. V. 69. № 12. P. 997–1007.
16. Lukina N.V., Lindahl K.B. Eurasian Boreal Forests: governance and management approaches for multiple services. Plenary 1.2 // International Conference “Governing and managing forests for multiple ecosystem services across the globe”. 2020. February 26–28. Bonn, Germany.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ: ОЦЕНКИ, ПРОГНОЗЫ, ПЛАНЫ РАН ОБСУЖДЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОКЛАДОВ

© 2020 г. М. Е. Хализева (составитель)

Журнал “Вестник РАН”, Москва, Россия

E-mail: kordasonorus@gmail.ru

Поступила в редакцию 17.03.2020 г.

После доработки 24.03.2020 г.

Принята к публикации 08.04.2020 г.

В статье рассматриваются проблемы трансформации наземных экосистем России в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий, ставшие предметом дискуссии, развернувшейся на заседании президиума РАН 10 декабря 2019 г. Её участники признали, что сегодняшнее состояние наземных экосистем увеличивает экологические риски и экономические последствия таких изменений. При этом участники обсуждения особо подчеркнули, что рациональное использование растительных ресурсов Российской Федерации — важнейшее условие устойчивого социально-экономического развития страны, поэтому академическому сообществу необходимо разработать действенные меры по их сохранению.

*Ключевые слова:* наземные экосистемы, моделирование экосистем, биоразнообразие растительного мира, национальная система классификации растительности, функции ботанических садов, особо охраняемые природные территории.

DOI: 10.31857/S0869587320060031

Директор Ботанического сада-института ДВО РАН член-корреспондент РАН **П.В. Крестов**, директор Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова доктор биологических наук **Е.К. Хлесткина** и директор Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН член корреспондент РАН **Н.В. Луккина**, выступившие на заседании президиума РАН с докладами, выделили несколько болевых точек, характеризующих современное состояние наземных экосистем в России: постепенное изменение состава флоры и растительного покрова, утрата некоторых древних популяций хозяйственно ценных видов и уникальных генофондов растений, заметное сокращение лесного покрова, обусловленное комбинированным влиянием природных и антропогенных факторов, рост населения, сопровождающийся увеличением потребления природных ресурсов. Чем научное сообщество может ответить на эти вызовы и что нужно сделать для поддержания наземных экосистем в стабильном состоянии?

Доктор биологических наук **Д.В. Гельтман**, возглавляющий Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге, считает, что

для сохранения и прогнозирования экосистем нужно иметь точные данные об их компонентах, в первую очередь о растениях. К числу важнейших способов обобщения фундаментальных знаний о растительном мире относят описательную сводку “Флора”. Россия — единственная страна бывшего СССР, которая не имеет такой сводки растений. Между тем без этого фундаментального труда страна, с точки зрения Д.В. Гельтмана, не может считаться в полной мере цивилизованной.

Среди выдающихся достижений отечественной науки Дмитрий Викторович назвал создание 30-томной “Флоры СССР”, издававшейся с 1934 по 1964 г. под редакцией академика, вице-президента, а затем и президента АН СССР В.Л. Комарова и члена-корреспондента АН СССР Б.К. Шишкина. В этом собрании описаны известные на тот период растен

ия Закавказья, Средней Азии, Крыма, Южной Сибири и Дальнего Востока. В меньшей степени в сводке затронута флора основной части России: в него вошли около 10 тыс. видов из более чем 17500, учтённых в СССР. По материалам “Флоры СССР” были созданы многотомные описания видов растений всех республик Советского Сою-

за, кроме Российской Федерации. Полной флористической сводки известных науке видов растений, представленных на территории нашей страны, не создано до сих пор.

В середине 1990-х годов Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН обсуждал идею создания новой “Флоры России”, где должна содержаться самая точная таксономическая характеристика видов растений и полная экологическая и географическая информация, на Международном рабочем совещании со специалистами из институтов, где собраны крупнейшие гербарии Европы, но тогда начать проект помешали трудности с финансированием. Тем не менее Ботанический институт продолжал работать в этом направлении за счёт грантов РФФИ. Но поскольку “Флора России” — это коллективный труд, в котором должны принимать участие многие учреждения РАН и университеты, организовать его за счёт средств грантовой поддержки, как правило, рассчитанной на год, невозможно. “Флора России” — это долговременный проект. Его предполагаемый объём — 25 томов. Создание такого свода может растянуться лет на 20. Одновременно с печатным изданием предполагается сформировать постоянно обновляемую компьютерную базу данных, которая позволит оперативно получать детальную информацию о том или ином растении. По сути, она уже создана в Ботаническом институте. Свои региональные базы есть и в других учреждениях академии и университетах. Их необходимо связать воедино, однако этому препятствуют административные сложности, связанные с организацией проекта сетевого характера.

В 2006 г. проблема создания “Флоры России” обсуждалась на заседании президиума РАН, но это не продвинуло проект. К сожалению, время работает против нас, констатировал Д.В. Гельтман. “Промедление с началом практического осуществления проекта может привести к необратимым изменениям в кадровой структуре современного российского ботанического сообщества, — сказал он. — Число квалифицированных систематиков и знатоков региональной флоры неуклонно сокращается. Тем не менее кадровый ресурс ещё есть. Если не откладывать проект на годы, а начать сейчас, то его можно завершить в разумные сроки”. Дмитрий Викторович возложил большие надежды на президиум РАН, Министерство науки и высшего образования РФ, научные фонды, которые имеют механизмы адекватной поддержки проекта, например, в рамках какой-либо государственной программы.

В сфере интересов Ботанического института находятся и другие долговременные программы, направленные на изучение наземных экосистем. В 2014 г. лишенологи института подготовили и из-

дали первый справочный том “Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников”. Готовятся следующие, уже систематические выпуски, посвящённые разным группам лишайников.

Д.В. Гельтман отметил также плодотворный труд своих коллег из Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина и Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, которые в 2003–2004 гг. представили фундаментальное издание в двух томах “Флора мхов средней части Европейской России” (авторы М.С. Игнатов и Е.А. Игнатова). Эта работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований президиума РАН “Научные основы сохранения биоразнообразия России”.

Наш дом действительно стремительно меняется — с этим нельзя не согласиться, отметил директор Никитского ботанического сада член-корреспондент РАН **Ю.В. Плугатарь**, поэтому такое большое значение придаётся изучению растительного покрова. Систематизация и инвентаризация растительных сообществ выступают фундаментальной основой этих исследований. В подтверждение Юрий Владимирович привёл цитату из А. Пуанкаре: “Наука — это прежде всего классификация”.

Сегодня классификация растительности востребована при оценке биоразнообразия сообществ и экосистем, картографировании растительности, прогнозе моделировании изменений биосферных процессов в результате естественных и антропогенных факторов, изучении проблем устойчивости экосистем, разработке фундаментальных аспектов рационального использования и сохранения растительного покрова, биологической индикации природных процессов в биосфере. Кроме того, классификация растительности — основополагающий аспект прикладных областей знаний: лесоведения и лесоводства, сельского хозяйства, охраны природы.

Между тем, несмотря на высокую значимость квалификационных процедур, в мире до сих пор не выработаны унифицированные подходы к классификации растительности. Принципы классификации заложены классиками отечественной фитоценологии и европейскими специалистами. Но реализованы они в той или иной степени только на региональном уровне. Современная тенденция состоит в создании национальных систем классификации, как это сделали в США, Китае и европейских государствах.

В нашей стране классификацию растительности всегда рассматривали в качестве важнейшей части геоботанической науки. Советские учёные внесли существенный вклад в разработку теоретических основ классификации и создание сво-



док по растительности отдельных регионов страны. Однако проблема в том, заметил Ю.В. Плугатарь, что у нас до сих пор не выработана единая для всей страны геоботаническая классификация в рамках какого-либо из известных сегодня квалификационных направлений. В то же время назрело решение преодолеть противостояние разных теоретических течений в классификации растительности, прежде всего двух главных направлений — эколого-фитоценотического, учитывающего особенности структуры и ценотические отношения видов разных жизненных форм, и эколого-флористического, ярким представителем которой был Ж. Браун-Бланке — основоположник крупнейшей геоботанической европейской школы фитосоциологии.

Ю.В. Плугатарь выделил несколько задач, которые должна решать национальная система классификации растительности. К ним относятся систематизация и инвентаризация биоразнообразия растительных сообществ на различных иерархических уровнях, упорядочение данных по растительным ресурсам, оценка природоохранной значимости растительных сообществ и экосистем, создание единых принципов лесной типологии и использование индикационного потенциала растительных сообществ для прогнозирования и моделирования биосферных процессов.

Создание национальной классификации должно основываться на обобщении первичных натуральных данных, выполненных в соответствии с международными стандартами. Ю.В. Плугатарь поддержал предложение П.В. Крестова о формировании общероссийского портала, где будут концентрироваться огромные массивы полевых данных, накопленных несколькими поколениями исследователей, что позволит эффективно заниматься классификацией растительности. При этом очень важна организация сетевого взаимодействия научных организаций. По мнению Юрия Владимировича, необходимо сформировать тематический программный комитет при РАН для разработки принципов национальной классификации растительности. “У нас есть все условия, чтобы планомерно и системно начать работы в этом направлении,” — заключил он.

Среди актуальных задач, направленных на сохранение биоразнообразия, участники дискуссии назвали создание семенных банков. Сегодня такие хранилища есть практически во всех странах мира. Однако первая в истории коллекция семян научно-прикладного назначения была создана в 20-х годах XX в. в нашей стране академиком Н.И. Вавиловым. В 1920–1930-е годы под его руководством в Советском Союзе была проведена колоссальная работа по сбору культурных и родственных им диких растений всех континентов.

Вавилов и его коллеги совершили около 180 экспедиций, в том числе в Эфиопию, Египет, Иран и Афганистан. Перед Великой Отечественной войной во Всесоюзном институте растений (ныне — Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург) было сосредоточено свыше 200 000 образцов. С тех пор семенной фонд существенно пополнился. Сейчас в российском Генетическом банке семян ВИРа, по словам директора института доктора биологических наук Е.К. Хлесткиной, содержится более 320 тыс. образцов — 64 ботанических семейства, 376 родов и 2169 видов растений. На одном из заседаний комиссии ООН по продовольствию было отмечено, что “самая ценная коллекция генов культурных растений находится в Санкт-Петербурге в Вавиловском институте. Это настолько уникальная коллекция, что дальнейшее получение пищи для человечества будет связано в основном с ней”. К слову, многие семенные банки, которые начали появляться в мире в 1970-х годах, устраивались по российской системе.

Сегодня отечественные хранилища семян располагаются в двух местах — в Санкт-Петербурге и в посёлке Ботаника под Краснодаром. Хранящиеся в ВИРе образцы культурных растений и их диких сородичей воспроизводятся на полях опытных станций, которые находятся в разных географических точках России — от Дальнего Востока и Заполярья до юга России (Сочи и Дагестан), поскольку так лучше поддерживать всхожесть семян в тех условиях, где они произрастают.

К важнейшим центрам сохранения растительных ресурсов России относят ботанические сады. Директор Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН **В.П. Упелниек** выразился даже более эмоционально: “Ботанические сады — это глобальный ресурс знаний о растительном мире, различных коллекциях и живых тканях. Они обеспечивают продовольственную и экологическую безопасность любого государства и являются важными культурно-просветительскими центрами”.

В России функционируют 112 ботанических садов различной ведомственной принадлежности, в коллекциях которых сохраняется около трети видов природной флоры страны. Их работу координирует Совет ботанических садов России. Главное назначение таких центров — восстановление и сохранение редких, исчезающих растений. Сегодня в ботанических садах сосредоточено более 64% сосудистых растений, включённых в Красную книгу Российской Федерации. Не менее важная задача уникальных просветительских и образовательных учреждений состоит в том, чтобы воспроизвести на своих площадях макси-

мально возможное многообразие культурных видов растений. В ботанических садах нашей страны культивируются многочисленные сорта и виды растений — от эфиромасличных и злаковых до плодовых косточковых.

В.П. Упелниек представлял на заседании президиума РАН крупнейший в Европе Главный ботанический сад Российской академии наук, основанный 14 апреля 1945 г. академиком Николаем Васильевичем Цициным. Сад располагает богатейшими коллекциями, отражающими растительный мир практически всех континентов и климатических зон земного шара — Средней Азии, Китая, Японии, Северной Америки, Средиземноморья. Впрочем, большая часть флоры ботанического сада — отечественная и из стран бывшего СССР. Воспроизвести её в точности и, главное, сохранить — один из главных приоритетов сотрудников учреждения. Живые коллекции сада насчитывают 8220 видов и 8110 форм и сортов растений — всего 16330 таксонов. На основе коллекций с использованием современных приёмов ландшафтной архитектуры созданы ботанические экспозиции природной флоры России, бывшего СССР, дендрарий, экспозиция тропических и субтропических, цветочно-декоративных и культурных растений.

Главный Ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, как и другие центры подобного рода, проводит широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований в области систематики и филогении растений. В.П. Упелниек считает, что “ботанические сады должны поднимать генетическое разнообразие коллекционных фондов”, занимаясь пополнением своих коллекций путём отбора генетических форм.

Однако, с точки зрения Владимира Петровича, ботанический сад — это, прежде всего просветительская, образовательная, рекреационная, экологически благоприятная парковая зона. На базе ботанических садов проводятся обучающие программы для школьников, студентов. Они служат местом, где отдыхают тысячи людей, которые получают удовольствие от общения с природой.

В.П. Упелниек ознакомил участников заседания президиума РАН со своим видением наиболее острых проблем, решение которых способно улучшить состояние ботанических садов. По его мнению, необходимо:

- привлечь для новых фундаментальных и прикладных исследований невостребованный потенциал генофондов уникальных коллекций;
- создавать ботанические коллекции нового типа, в основе которых лежат современные знания об эволюционно-генетических особенностях сохраняемых видов;

- тщательно инвентаризировать существующие коллекции с использованием современных систем;

- создавать генетические коллекции перспективных гибридных форм, чтобы использовать их для геномной селекции;

- сформировать национальный банк ДНК редких и исчезающих видов;

- поэтапно приступить к инвентаризации национальных ресурсов;

- создавать центры криоконсервации клеток и тканей растений;

- организовать единый электронный ресурс данных по креационным фондам растений.

Президент РАН академик **А.М. Сергеев**, оценивая высокую значимость ботанических садов для сохранения генофонда растительных ресурсов России, высказал свои соображения по поводу функций, которые они взяли на себя. Речь, в частности, зашла о моделировании современных экосистем. С одной стороны, моделирование — это едва ли не единственно возможный способ предсказать последствия антропогенных воздействий на экосистемы. С другой стороны, ботанический сад как социально-культурный объект служит местом для проведения досуга и отдыха, развития экологического, образовательного и интеллектуального туризма и отчасти живёт за счёт средств, поступающих от населения. “Массовые посещения — это хорошо или плохо для ботанических садов? — задавался вопросом А.М. Сергеев. — Для моделирования, о котором мы говорим, — плохо, потому что природная система должна находиться в изоляции и любой фактор, нарушающий равновесие, может повлиять на достоверность результатов. А для ботанического сада — хорошо, потому что за счёт посетителей он получает дополнительный ресурс и использует его на развитие. Есть в этом очевидное противоречие”.

Директор Ботанического сада-института ДВО РАН член-корреспондент РАН **П.В. Крестов**, наоборот, не видит здесь никаких противоречий. “Ботанический сад, — сказал он, — обладает всей инфраструктурой для воспроизводства растений и поддержания их в жизнеспособном состоянии, причём в любом виде. То есть мы можем сохранять генофонд в виде живых растений, гербария, коллекций и т.д. Вот для чего нужен ботанический сад. Экспозиционные коллекции предназначены для людей. В каждом ботаническом саду есть подразделение, которое занимается только коллекциями и работает с населением. Главное состоит в том, чтобы изменить менталитет людей от потребительского к экологическому. И эту задачу ботанические сады эффективно решают”.

По мнению П.В. Крестова, научная деятельность напрямую с коллекциями не связана. Ис-

следователи — люди широкого мировоззрения, именно они занимаются моделированием экосистем. “Сотрудники нашего ботанического сада при очень скромном бюджете за 10 последних лет совершили более сотни экспедиций в различные регионы мира — от Европейской части России до Аляски, от Чукотки до Малайзии, — сообщил он. — Мы сконцентрировали у себя и специалистов, и материалы, необходимые для моделирования. Эту функцию ботанических садов ни в коем случае нельзя сбрасывать со счетов”.

А.М. Сергеев согласился, что исключать из функций ботанических садов моделирование экосистем нельзя, но найти разумную середину между этой работой и культурно-просветительской деятельностью садов, которая позволяет им зарабатывать, надо.

В поддержку П.В. Крестова высказался и академик РАН **А.В. Адрианов**: “Сады выходят за рамки привычных для них задач. Они действительно стали центрами моделирования и прогнозирования динамики, которая отмечается в природных экосистемах. В связи с этим необходимо обратиться в Министерство науки и высшего образования РФ с просьбой поддержать развитие экспериментальной базы ботанических садов”.

Сотрудников ботанических садов волнует ещё и ограниченный доступ к современным технологиям. “Сегодня мы не можем заниматься многими вещами, — заметил П.В. Крестов, — потому что не имеем своих технологий для исследования наземных экосистем. Зарубежные коллеги в этом смысле находятся в выигрышном положении. Взять, например, Мэрилендский университет. На его сайте размещена программа “Global Forest Watch”, с помощью которой буквально за несколько кликов мышкой можно получить исчерпывающую характеристику растительного покрова на очень больших территориях с хорошим разрешением. Более того, если задать определённые критерии поиска, то можно увидеть, как изменился растительный покров за любой промежуток времени. У нас таких возможностей нет”.

Кроме ботанических садов, функцию сохранения биологического разнообразия и устойчивости экосистем призваны выполнять особо охраняемые природные территории (ООПТ). Согласно статистическим данным, в России системой ООПТ охвачено свыше 200 млн га — примерно 12,8% общей площади страны. Она складывается из более чем 13 тыс. особо охраняемых территорий, 299 из которых имеют федеральное значение и 11647 — региональное. “Мы рассматриваем эти зоны как каркас экологической и биологической безопасности нашей страны”, — сказал на заседании президиума РАН директор Департамента государственной политики и регулирования в сфере развития особо охраняемых природных терри-

торий и Байкальской природной территории Министерства природных ресурсов и экологии РФ **И.В. Шмаков**.

Будучи основной базой для сохранения естественных условий природной среды, ООПТ подвергаются антропогенным воздействиям, которые ведут к сокращению биоразнообразия и трансформации природных комплексов, подчеркнул Иван Владимирович. Негативное влияние на состояние экосистем вносит туризм. В районах массового отдыха вытаптывается растительность, нарушается структура почв, повышается интенсивность эрозионных процессов, сокращается численность животных, загрязняется территория. Серьёзный урон природным комплексам и объектам ООПТ наносят пожары. Они частично или полностью уничтожают растительность, оказывая негативное влияние на сообществ растений и последующее развитие растительного покрова.

Есть свои трудности и в области управления особо охраняемыми природными территориями. По мнению И.В. Шмакова, всё острее ощущается недостаток квалифицированных кадров и слабый уровень социального обеспечения специалистов заповедного дела.

Одна из основных задач ООПТ — образовательная и просветительская. “Наша цель, — сказал Иван Владимирович, — найти баланс между сохранением природы и правами граждан, чтобы они использовали возможности ООПТ, не испытывая особых ограничений”. Надёжными инструментами в просветительской работе становятся образовательные программы, экологические акции, выставки, конференции, конкурсы. В последнее время особую популярность набирают визит-центры с интерактивными площадками и музейными экспозициями.

И.В. Шмаков воспользовался трибуной президиума РАН, чтобы пригласить академические учреждения к более тесному сотрудничеству с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации и находящимися в его ведении ООПТ. “На особо охраняемых территориях накоплен большой объём информации о состоянии окружающей среды и происходящих природных явлениях. Мы готовы выстраивать взаимоотношения с Российской академией наук, чтобы использовать эти данные с наибольшей выгодой”, — сказал он, выразив также готовность взаимодействовать с РАН и по болезненным вопросам, в том числе по Дальневосточному морскому государственному природному биосферному заповеднику и Уссурийскому государственному природному заповеднику им. В.Л. Комарова, которые в 2019 г. из Министерства науки и высшего образования РФ были переданы в ведение Министерства природных ресурсов и экологии РФ.

Но, пожалуй, наиболее резонансной на заседании президиума РАН стала тема эксплуатации лесного фонда России. По словам председателя Научного совета РАН по лесу члена-корреспондента РАН **Н.В. Лукиной**, “лесных ресурсов в стране довольно много — мы богатая лесная держава. Но с лесами у нас большие проблемы”. Собравшихся впечатлила динамично меняющаяся по мере поступления новых данных карта растительности России, которую создают специалисты РАН с использованием методов дистанционного зондирования Земли. С начала текущего столетия произошло резкое сокращение площадей лесного покрова — смена хвойных лесов на мелколиственные. То есть по результатам спутникового мониторинга, как, впрочем, и по материалам стационарных наземных наблюдений, можно сделать однозначный вывод о деградации лесов. Причины — изменение климата, пожары, воздушные загрязнения, вспышки массового размножения насекомых, грибные болезни, рубки и комбинированные эффекты этих факторов. Однако самое поразительное состоит в том, что деградация началась после принятия в 2006 г. “Лесного кодекса Российской Федерации”.

Озабоченность, связанную с состоянием лесов, разделяет и член-корреспондент РАН **П.В. Крестов**. “Сейчас уничтожение лесов происходит, можно сказать, законодательным путём, — сокрушался он. — Лесопромышленное лобби фактически способствует тому, чтобы лишить лесное законодательство последних экологических ограничений. Приморье, например, потеряло благодаря несостоятельности законодательства половину того, что копилось лесными экосистемами тысячелетиями. Такую законодательную базу пользования лесными системами надо экстренно менять”.

Кстати, накануне заседания президиума РАН прошёл Научный совет РАН по лесу на тему «Проект концепции федерального закона “Лесной кодекс РФ”», основная идея которого — переход от заготовки древесины в естественных лесах к модели лесовыращивания целевых древесных пород, сохранения биоразнообразия и баланса между всеми экосистемными услугами лесов для будущих поколений.

Академик РАН **А.М. Сергеев** назвал вопрос использования лесных ресурсов наиболее злободневным. Существующий в стране “Лесной кодекс РФ”, по его мнению, отрицательно сказался на сохранении биоразнообразия лесов и выполнении ими экосистемных функций. Действительно, не все лесопользователи считают себя обязанными разрабатывать участки лесного фонда в соответствии с лесным законодательством Российской Федерации. Это неправильно, о чём неоднократно говорилось с высоких три-

бун”. Академия наук, считает Александр Михайлович, должна внести свой вклад в создание нового “Лесного кодекса РФ” на научной основе. «Нам надо сформулировать предложения в его поддержку и направить их в соответствующие инстанции. В разработке нового “Лесного кодекса РФ” обязательно должна участвовать Российская академия наук», — сказал он.

Комплексное изучение всех компонентов и механизмов функционирования наземных экосистем, которым занимаются институты Академии наук, позволит разработать основу управления продуктивностью и устойчивостью экосистемы в условиях интенсивного природопользования, заметил директор Института лесоведения РАН доктор биологических наук **А.А. Сирин** и проиллюстрировал это на примере болот и заболоченных территорий.

Болота образовались в последние 15 тыс. лет, на планете они занимают только 3% суши, встречаются во всех странах, но лидером является Россия. В нашей стране на заболоченные территории приходится около 10% всей площади.

Болота лидируют по запасам углерода, опережая другие экосистемы, включая леса, и они — второй по значению после океанических осадков резервуар долговременного накопления атмосферного углерода на планете. При этом значительная часть болот (особенно на Европейской части страны) изменена хозяйственной деятельностью человека.

Более половины углеводородного сырья добывается на болотах. То есть четверть бюджета Российской Федерации так или иначе привязана к болотным экосистемам. Поэтому так важно, говорил **А.А. Сирин**, сохранять и развивать существующие в РАН системы долговременного мониторинга наземных экосистем, в том числе болотных, с целью получения достоверных данных о протекающих в них процессах в условиях изменения климата и антропогенных воздействий. Андрей Артурович напомнил, какое значение придавал комплексным долговременным наблюдениям на стационарных объектах блестящий учёный-натурлист академик **В.Н. Сукачёв**, создавший отечественную школу фитоценологии. Именно он выступил с инициативой организации в системе Академии наук Института леса, которая была поддержана Правительством СССР в тяжёлом военном 1944 г. Этот институт заложил основы академической лесной науки и дал толчок развитию долговременных наблюдений по другим научным направлениям.

Изучению болот и заболоченных территорий в нашей стране надо уделять больше внимания, подчеркнул президент РАН **А.М. Сергеев**. “Мы выкачиваем из нашей природы, в частности из болот, огромное количество ресурсов, поэтому

должны следить за их состоянием”, — сказал он. Болота — источник многих незаменимых ресурсов, объекты, эксплуатируемые торфяной промышленностью, сельским, лесным хозяйством. В Западной Сибири на болотах создана основная часть инфраструктуры нефтегазового комплекса. Торфяные болота вовлечены в традиционное природопользование и играют важную социальную и экономическую роль. Накануне заседания президиума РАН А.М. Сергеев посетил Томск, где вместе с губернатором С.А. Жвачкиным наряду с другими вопросами обсуждал и практическое использование болот.

Академик РАН **А.В. Адрианов**, который курировал подготовку заседания президиума РАН по изменениям наземных экосистем в России, отметил, что задачи сохранения разнообразия природных ресурсов, их рациональное использование в интересах российской экономики достойны включения в Перечень приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации. Он поддержал идею обратиться в Правительство РФ с предложением подготовить

федеральную научно-техническую программу, направленную на сохранение и изучение наземных экосистем современными методами.

А.В. Адрианов, считает, что надо поддержать усилия Научного совета РАН по лесу, подготовившего концепцию нового федерального закона “Лесной кодекс Российской Федерации”. “Мы попытаемся предложить её нашим законодателям, чтобы заручиться их поддержкой”, — сказал он.

Андрей Владимирович отметил также необходимость содействовать реализации разработанной научно-исследовательскими институтами Российской Федерации и Республики Беларусь концепции Научно-технической программы Союзного государства “Оценка и пути предотвращения рисков возникновения кризисных ситуаций в лесах при интенсификации лесного хозяйства”, затрагивающей такие важные вопросы, как обеспечение достоверной информацией о лесах, экологическая и социально-экономическая оценка биоразнообразия, экосистемные услуги лесов.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДБОРА ЭКСПЕРТОВ В РОССИЙСКОМ НАУЧНОМ ФОНДЕ

© 2020 г. А. Н. Блинов<sup>a,\*</sup>, А. В. Клименко<sup>b,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Российский научный фонд, Москва, Россия

<sup>b</sup> Национальный исследовательский университет “Московский энергетический институт”, Москва, Россия

\*E-mail: blinov@rscf.ru

\*\*E-mail: klimenkoav@bk.ru

Поступила в редакцию 09.12.2019 г.

После доработки 16.12.2019 г.

Принята к публикации 19.02.2020 г.

Современная жизнь немыслима без информационных технологий. Большие объёмы данных позволяют автоматизировать процессы и создавать алгоритмы, имитирующие наше поведение и выбор. Рутинная работа заменяется компьютерными вычислениями, исключая влияние человеческого фактора. В статье рассматривается опыт создания и использования системы автоматического, без участия человека, подбора экспертов на заявки конкурсов Российского научного фонда как одного из элементов предотвращения конфликта интересов. На основе анализа и сравнения результатов автоматического и ручного подбора экспертов в рамках двух конкурсов РНФ делается вывод об отсутствии каких-либо значимых изменений как в структуре отобранного пула экспертов, так и в содержательной оценке заявок. Вместе с тем разработанный алгоритм автоматического подбора и назначения экспертов имеет потенциал дальнейшего развития за счёт учёта в нём дополнительных факторов, характеризующих работу экспертов. К ним, например, относятся время проведения экспертизы или средний балл, выставяемый экспертом для каждой заявки.

**Ключевые слова:** грант, экспертиза, информационная система, эксперт, выбор эксперта, автоматизация, конфликт интересов, научный фонд, РНФ.

DOI: 10.31857/S086958732006002X



БЛИНОВ Андрей Николаевич — кандидат технических наук, заместитель генерального директора — начальник управления программ и проектов РНФ. КЛИМЕНКО Александр Викторович — академик РАН, главный научный сотрудник НИУ “Московский энергетический институт”, председатель экспертного совета РНФ по Президентской программе исследовательских проектов, реализуемых ведущими учёными, в том числе молодыми учёными.

Эффективность работы конкурентных механизмов распределения средств на научные исследования во многом зависит от качества конкурсного отбора. Традиционно отбор научных проектов базируется на экспертной оценке. В организациях, финансирующих научные исследования на конкурсной основе, её проводят сами учёные [1]. На объективность экспертной оценки влияют такие факторы, как квалификация эксперта, в том числе полнота соответствия области его профессиональных знаний содержанию рассматриваемого проекта, наличие у него явного или скрытого конфликта интересов и в некоторой степени время, отводимое на ознакомление с проектом и экспертизу. В связи с этим подбор экспертов можно назвать одним из ключевых процессов, оказывающих решающее воздействие на конечные результаты рассмотрения заявок.



В большинстве случаев подбор осуществляется с учётом определённой классификации областей знаний. За основу могут быть взяты подготовленные на государственном уровне классификаторы (для России, например, ГРНТИ, номенклатура научных специальностей [2]) или разработанные своими силами. Фонды поддержки науки используют свои классификаторы, которые, как правило, различаются между собой не только по уровню детализации, но и по основным разделам. Например, в Российском научном фонде 9 разделов [3], Российском фонде фундаментальных исследований – 16 [4], Немецком научном сообществе (DFG) – 4 [5], Национальном научном фонде США (NSF) – 12 [6]. Помимо классифицирования, при выборе эксперта также учитывается содержательная информация о проекте – ключевые слова и аннотация. Очевидно, что для более точного сопоставления необходима аналогичная информация и об эксперте, то есть отнесение круга его интересов к тем или иным научным направлениям, ключевые слова, привязанные к исследованиям учёного, и сведения о тематике его публикаций.

Научные фонды и другие организации, проводящие конкурсы на регулярной основе, обычно имеют собственные базы экспертов. Отечественные научные фонды включают в экспертный состав учёных, выразивших заинтересованность в подобной работе, предоставивших в фонд сведения о себе, имеющих долгосрочные, чаще договорные, отношения с фондом и получающих вознаграждение за свою деятельность. Данная схема работы обусловлена не только законодательными требованиями, но и необходимостью обеспечить рассмотрение заявок в фиксированные сроки. Эксперты подают в фонд сведения о научных интересах, что позволяет классифицировать их по направлениям. Эта информация представляется наиболее важной, так как именно она используется при подборе экспертов на конкретные проекты.

Подбор осуществляется разными способами. Им могут заниматься штатные сотрудники финансирующей организации, имеющие опыт участия в научных исследованиях в определённой области знаний и достаточно высокий уровень компетенции. Такой подход распространён в зарубежных научных фондах, например, в Немецком научно-исследовательском сообществе [7]. В Российском научном фонде и Российском фонде фундаментальных исследований другая практика: распределение заявок проводится уполномоченными членами экспертных советов, создаваемых для проведения конкурса [8, 9]. И в том, и в другом случае эксперты подбираются людьми, которые сравнивают содержание заявки с профессиональными компетенциями эксперта, руководствуясь совпадением кодов используемого

классификатора научных исследований, ключевых слов и др. Подобное распределение заявок требует сопоставления больших массивов научной информации.

Значительно усложняет работу по подбору необходимость отслеживать конфликт интересов. Суть этого понятия заключается в возможной заинтересованности эксперта в определённом – положительном или отрицательном – исходе экспертизы. Заинтересованность может быть финансовой или личной, когда речь идёт о проектах, в которых участвуют родственники или близкие друзья эксперта, организационной, если в проекте задействована организация, с которой аффилирован эксперт, или, что особенно сложно заметить, интеллектуальной, связанной с приверженностью эксперта к тем или иным научным школам, исследовательским подходам или к определённому мировоззрению [10]. На практике подходы, предотвращающие конфликт интересов, сводятся к отслеживанию участия эксперта в рассматриваемом проекте или в проекте, конкурирующем с ним, общих публикаций с участвующими в заявке учёными, работы с ними в одной организации, а также родственных связей. Исключение конфликта интересов может входить в круг обязанностей лица, занимающегося распределением заявок по экспертам, или самого эксперта, когда он должен декларировать отсутствие конфликта интересов при принятии проекта на экспертизу. Возможна комбинация этих подходов. Учитывая, что не все жизненные ситуации могут быть формализованы и предусмотрены в нормативных документах, наиболее разумной представляется схема, в рамках которой чётко определённый и контролируемый конфликт интересов отслеживается на стадии распределения проектов, а все остальные, включая скрытые конфликты интересов (например, личная неприязнь), должны побудить эксперта отказаться от экспертизы.

Вместе с тем при проведении массовых конкурсов, когда количество заявок исчисляется тысячами и необходимо назначать по несколько (как правило, не менее трёх) экспертов на один проект, ручное назначение превращается в длительный трудоёмкий процесс, где даже самые квалифицированные распределяющие могут совершать ошибки, связанные с естественным снижением концентрации внимания. Как известно, часть экспертов по разным причинам отказывается от проведения экспертной оценки [11], что требует подбора новых кандидатур. Это существенно удлиняет процесс. В результате возрастает вероятность ошибки, вызванной усталостью, а время на выполнение содержательной экспертизы проектов сокращается.

Замечены и общие, вне зависимости от количества заявок, погрешности ручного подбора экспертов. Одна из наиболее острых проблем, постоянно обсуждаемых в научном сообществе, — субъективность экспертных оценок [12]. Она затрагивает в том числе и процесс назначения экспертов. Лицо, подбирающее этих учёных на проекты, обладает не только компетенциями в определённой области науки, но и дополнительными знаниями об экспертах: кто более критичен, а кто, наоборот, проявляет излишнюю доброжелательность к коллегам. Теоретически это открывает возможность повлиять на результаты экспертизы. Данное обстоятельство, как и принадлежность к той или иной научной школе или просто симпатии в отношении какого-либо проекта, позволяет говорить о наличии конфликта интересов.

Избежать этого можно несколькими путями. Первый из них: лицу, занимающемуся распределением, эксперты могут быть представлены анонимно. Но тогда при подборе ему приходится оперировать сокращённым объёмом информации — без сведений о публикациях и месте работы эксперта. Это неизбежно ведёт к увеличению ошибок в определении соответствия научных интересов эксперта содержанию проекта, хотя исключает конфликт интересов. Как следствие, увеличивается количество отказов от проведения экспертизы, снижается качество в случаях, когда экспертизу проводят специалисты, компетенции которых не совпадают с тематикой проекта или которые имеют с его участниками отношения, вызывающие конфликт интересов. Второй путь — обезличивание заявки, но это приводит к тем же последствиям, о которых говорилось выше. Как показывает практика, чтобы полностью лишить эксперта способности определить принадлежность заявки, необходимо настолько сократить информацию о проекте, что под сомнение ставится сама возможность адекватной экспертизы [13]. И есть третий путь — исключить человеческий фактор при распределении проектов на экспертизу, автоматизировав этот процесс. Очевидно, что и в этом случае вопрос о точности подбора экспертов на соответствие тематике проектов также остаётся центральным.

Таким образом, можно выделить три основных фактора подбора экспертов, влияющих на качество экспертизы при проведении массовых конкурсов, характерных для научных фондов:

- трудоёмкость процесса и значительные временные затраты на него;
- сложность обеспечения точного совпадения научных интересов эксперта и тематики научного проекта;
- неизбежность субъективизма при выборе экспертов.

Российский научный фонд с первых шагов своей деятельности последовательно реализовывал

меры по совершенствованию экспертизы, в частности, при подборе экспертов. Их подбор и назначение фонд сразу начал проводить в Информационно-аналитической системе (ИАС), в которой регистрировались и эксперты, и подаваемые на конкурс заявки. Изначально подбор осуществлялся в полуавтоматическом режиме координатором тематической секции экспертного совета, к которой относился проект. При этом на основании сведений о проекте (кодов классификатора) ИАС формировала и ранжировала по количеству совпавших кодов список возможных экспертов. Из него координатор выбирал учёных, попутно проверяя соответствие кодов классификатора эксперта и проекта, сопоставляя ключевые слова научных интересов эксперта и тематику проекта, контролируя конфликт интересов. Дальнейшее развитие Информационно-аналитической системы позволило автоматизировать процесс отслеживания явного конфликта интересов у эксперта: из предлагаемого координатору списка автоматически исключались кандидаты, участвовавшие в рассматриваемой заявке, работавшие в организации, от которой подан проект, или фигурировавшие в качестве руководителей проекта в данном конкурсе.

Следующим этапом развития системы стал автоматизированный учёт занятости эксперта. Перегруженность учёного зачастую ведёт к нивелированию его экспертной оценки и снижению качества экспертизы. Установлено, что в рамках одной кампании эксперту следует одновременно направлять не более 10 проектов, учитывая, что он вправе отказаться от экспертизы любого из них. Число 10 подобрано опытным путём и при необходимости может быть изменено. Помимо того, что в предоставленном координатору списке эксперты с десятью назначенными/принятыми экспертизами не значились, координатор владел актуальной информацией о загрузке каждого предлагаемого ИАС РНФ эксперта и мог её контролировать.

Ещё одно усовершенствование Информационно-аналитической системы связано с ранжированием списка возможных экспертов. Использование в ИАС лемматизации ключевых слов экспертов и проектов позволило сопоставлять их по этому признаку и ранжировать по совпадению кодов классификатора и ключевых слов. Подбор стал более точным. При этом система весовых значений открывала возможность регулировать важность тех или иных совпадений в алгоритме выстраивания рейтингового списка. Кроме того, была добавлена ещё одна опция, связанная с семантическим анализом и формированием ключевых слов заявки из аннотаций проектов. Таким образом, к указанным авторами проекта ключевым словам добавлялись сформированные из его аннотации.

Таблица 1. Параметры конкурсов ПП2-2018 и ПП2-2019

Параметр	ПП2-2018	ПП2-2019
Количество допущенных к конкурсу заявок	1165 шт.	1175 шт.
Количество экспертов, привлекаемых для экспертизы каждой заявки	3 эксперта	3 эксперта
Общее количество экспертиз	3495 шт.	3525 шт.
Сроки проведения экспертизы	30.03.2018–30.06.2018	04.04.2019–30.06.2019
Количество отобранных проектов	313 шт.	340 шт.

Эти шаги помогли вплотную приблизиться к автоматическому подбору экспертов. В данном случае под “автоматическим” подразумевается ситуация, когда по определённым параметрам эксперты назначаются на проекты без участия человека. Следует признать, что многие члены экспертного совета РНФ скептически отнеслись к такой идее, указывая на недостаточность информации для выбора наиболее подходящих экспертов, незнание компьютером всех нюансов отношений между учёными, работающими в определённом направлении. Поэтому первый опыт автоматического назначения — в конкурсе 2019 г. по мероприятию “Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня” — проходил в РНФ при участии человека. К конкурсу было допущено 1.3 тыс. заявок, по каждой из которых с помощью компьютера назначались три индивидуальных эксперта. Алгоритм был реализован так, что после автоматического назначения экспертов на проекты координаторы секций могли просмотреть результат и в случае несогласия снять назначение, указав причину. По разным секциям координаторы сняли от 2 до 25% экспертов от числа автоматически назначенных. Причины — несоответствие, по мнению координатора, научных интересов эксперта тематике проекта (44% случаев) и наличие неформальных конфликтов: от работы по совместительству в одной с заявителем организации (филиале организации) до родственных связей и близких дружеских отношений между экспертом и заявителем. В итоге координаторы сняли 7% от общего числа автоматически назначенных экспертов. Для сравнения: количество самостоятельных отказов экспертов от проведения экспертизы составило 30% от числа всех назначенных экспертиз, причём доля отказов по причине несоответствия тематики в этом случае равнялась 46%.

Сравнивая общее число отказов с зарубежными фондами, можно сказать, что показатель РНФ совпадает с показателем Национального научного фонда США, который также сообщает о 30% отказов [14]. Если сопоставлять со схожей системой рецензирования статей в научных журналах [15], то там доля отказов экспертов из-за отсутствия компетенций может превышать 70%.

Вместе с тем опыт такого назначения оказался полезным для доработки алгоритмов автоматического подбора экспертов. В частности, были выявлены проблемные случаи, когда на одну заявку назначались два эксперта из одной организации. Такая ситуация сама по себе не является нарушением каких-либо правил, но очевидно, что она не способствует объективности рассмотрения проектов. Поэтому на практике на одну заявку координаторы назначают, по возможности, экспертов из разных организаций и регионов. Это правило было включено и в алгоритм автоматического назначения экспертов.

Полностью автоматический подбор экспертов прошёл в конкурсе 2019 г. по мероприятию “Проведение исследований научными группами под руководством молодых учёных” Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учёными, в том числе молодыми (далее — ПП2-2019). В конкурсе участвовало 1175 заявок, на каждую назначались по три эксперта.

Автоматический подбор и назначение экспертов осуществлялись следующим образом. С учётом ранее описанных параметров (исключение конфликта интересов, совпадение кодов классификатора и ключевых слов, уровень загруженности эксперта и т.д.) ИАС РНФ формировала и ранжировала для каждого проекта список из 50–100 кандидатов. Выстраивание проходило по совпадению кодов классификатора и ключевых слов. Из подготовленного списка автоматически, учитывая недопустимость назначения экспертов из одной организации, выбирались эксперты с высокими рангами. Кроме того, была введена система весовых значений параметров, которая позволяла точнее регулировать их влияние. Например, нагрузка до пяти экспертиз (все весовые значения задаются оператором ИАС РНФ в ходе работы) не оказывала никакого влияния на вероятность выбора эксперта. При превышении пяти экспертиз приоритет отдавался экспертам с меньшей нагрузкой, но в пределах их ранжирования по кодам и ключевым словам. Эксперты с десятью и более экспертизами в работе или на согласовании не рассматривались.

**Таблица 2.** Отказы от проведения экспертизы, %

Причина отказа	ПП2-2018	ПП2-2019
Наличие конфликта интересов	10.1	7.0
Чрезмерная загруженность, сроки	36.6	31.6
Несоответствие тематики проекта и научных интересов эксперта	45.4	53.2
Иное	7.9	8.2

Подбор экспертов и назначение 3525 экспертиз заняли несколько часов и уложились в рамки одного рабочего дня. Впоследствии при отказах экспертов от проведения экспертизы процедура их автоматического переназначения повторялась ежедневно.

Для оценки результатов применения автоматической системы целесообразно сравнивать параметры рассматриваемой экспертной кампании с аналогичной, в которой использовалось ручное распределение экспертов. Как нельзя лучше для этого подходит конкурс по тому же мероприятию Президентской программы, но проведённого годом раньше, в 2018 г. (далее — ПП2-2018), в котором оказалось близкое число заявок и то же количество экспертов — по три для каждой заявки (основные параметры сравниваемых конкурсов представлены в табл. 1). Дополнительный аргумент в пользу сравнения именно этих конкурсов — в них практически полностью (отклонения не более 1%) совпадает распределение поданных заявок по отраслям знаний. При этом анализ проводился с учётом некоторого различия в количестве рассматриваемых заявок, для чего все показатели нормировались на общее число заявок или экспертиз в том и другом конкурсах.

Как показало сравнение, благодаря автоматическому распределению эксперты получали боль-

ше времени для выполнения своих обязанностей. Их оповещали сразу после назначения экспертиз. Как результат, срок принятия решения о согласии на проведение экспертизы или отказе от неё снизился в среднем с 2.3 дня в 2018 г. до 1.6 дня в 2019 г.

Среди ожидаемо слабых мест автоматического подбора экспертов следует назвать неточное сопоставление компьютером темы проекта с профессиональными интересами эксперта. Конечно, это вопрос недостаточности, а иногда и неточности данных для автоматической обработки. Чтобы оценить, как работала ИАС РНФ, оперируя имеющимися в её распоряжении сведениями о проектах (ключевые слова, аннотация и привязка к кодам классификатора) и об экспертах (ключевые слова, привязка к кодам классификатора), были проанализированы отказы от проведения экспертизы. По нормативным документам РНФ, эксперт при возникновении конфликта интересов или отсутствии у него достаточных компетенций для подготовки квалифицированного и объективного заключения по проекту обязан отказаться от проведения экспертизы, указав причину. Общий процент отказов без учёта экспертиз, снятых принудительно из-за нарушения сроков проведения работ, составил в 2018 г. 31.3%, в 2019 г. — 37.5%. Уменьшилось число отказов из-за конфликта интересов, загруженности и невозможности завершить работу в установленные сроки (табл. 2). Но, как и ожидалось, увеличилась доля отказов в связи с несоответствием тематики проекта и научной компетенции эксперта. Вместе с тем за счёт быстрого реагирования автоматическое переназначение экспертов осуществлялось оперативно, и увеличение числа отказов никак не сказалось на сроках проведения экспертизы.

Обращает на себя внимание факт снижения почти на треть доли отказов по причине конфликта интересов. Это свидетельствует о том, что информированность координаторов о тех или иных неформальных конфликтах в процессе подбора экспертов менее значима, нежели автоматизированное исключение формализованных случаев.

Средняя продолжительность одной экспертизы осталась неизменной — 13.1 дня. Не исключено, что

**Таблица 3.** Загруженность экспертов, %

Количество экспертиз	ПП2-2018	ПП2-2019
1	52.4	50.2
2	24.3	23.7
3	10.9	10.5
4	6.0	5.5
5	2.3	3.8
6	1.5	2.0
7	0.6	1.1
8	0.9	0.9
9	0.3	0.4
10	0.2	0.6
Более 10	0.6	1.3

Таблица 4. Региональное распределение отобранных экспертов, %

Регион	ПП2-2018	ПП2-2019	Все эксперты
Центральный федеральный округ	53.7	52.5	53.6
Сибирский федеральный округ	11.9	12.5	13.2
Северо-Западный федеральный округ	11.7	12.5	12.6
Приволжский федеральный округ	11.4	11.6	9.6
Уральский федеральный округ	4.0	3.9	4.0
Южный федеральный округ	3.6	3.5	3.0
Дальневосточный федеральный округ	2.1	1.9	2.3
Не указано	1.0	1.2	1.0
Северо-Кавказский федеральный округ	0.6	0.4	0.7

это обусловлено нормативными документами РНФ, устанавливающими предельный срок — две недели. Наибольшие изменения в объёмах завершённых экспертиз были заметны в первый месяц. Если по прошествии двух недель с начала экспертизы в 2018 г. было завершено лишь 8.2% экспертиз, то в 2019 г. — уже 27%. По истечении месяца эти показатели составляли 63.3% и 72.9% соответственно. Далее они выровнялись и отличались друг от друга не более чем на 2% в пользу 2019 г.

Другой важный показатель — число экспертиз, приходящихся на одного эксперта. В обоих рассматриваемых случаях работало ограничение — одновременно не более 10 экспертиз в работе у одного эксперта. Несмотря на то, что при автоматическом подборе незначительно увеличилась доля экспертов, проводивших 10 и более экспертиз, в целом картина по загруженности осталась прежней (табл. 3).

Половина отобранных экспертов провели по одной экспертизе, а почти 90% экспертов — не более четырёх. В среднем и в 2018 г., и в 2019 г. на одного эксперта приходилось две экспертизы. Всего для заявок конкурса ПП2-2018 координаторы секций отобрали 2512 уникальных экспертов (в том числе отказавшихся от экспертизы), а в 2019 г. компьютер выбрал 2524. Доля совпадений между выбором экспертов координатором в 2018 г. и компьютером в 2019 г. составила 62.5%. Среди экспертов, согласившихся провести экспертизу, доля таких совпадений — 55.6%. Данные по повторяющимся экспертам лишь приблизительно характеризуют процесс подбора, так как существенное влияние здесь оказывает тематическая структура массива заявок.

Региональное распределение экспертов, определяемое по месту нахождения организаций, в которых работают эксперты, также не претерпело существенных изменений и вполне соотносится как с их распределением в рамках конкурса ПП2-2018, так и с распределением всех действующих экспертов РНФ (табл. 4).

Учитывая, что проекты обоих конкурсов оценивались по одинаковым критериям с использованием одной формы экспертного заключения, а также предположив, что в конкурсах, совпадающих по ряду параметров, качество заявок не сильно менялось, можно сопоставить оценки, выставленные экспертами по конкурсным проектам, для анализа изменений содержательной части экспертиз. В РНФ существует несколько видов цифровых оценок проекта. Один из них — баллы, выставляемые ИАС РНФ автоматически по ответам эксперта на вопросы экспертного заключения. Они недоступны ни экспертам, ни заявителям и служат лишь одним из способов первичного ранжирования заявок в рамках секций.

Как видно из представленной на рисунке 1 диаграммы, такие факторы, как применение автоматического подбора и замена половины корпуса экспертов, не сильно сказались на содержательной оценке проектов. Необходимо подчеркнуть, что сам массив заявок при этом претерпел существенные изменения. На конкурс 2019 г. руководителями, участвовавшими в конкурсе 2018 г., было подано всего 18% заявок.

Каждый критерий оценивается экспертами по пятибалльной шкале (отлично, хорошо, средне, ниже среднего и плохо). Для сопоставления, помимо общей картины ответов эксперта, было проведено сравнение по отдельному критерию. Уровень научной значимости и актуальности тематики проекта — это тот критерий, при оценке которого сложнее всего исключить влияние субъективного мнения эксперта. Несмотря на расшифровку<sup>1</sup> каждого из возможных ответов экс-

<sup>1</sup> Отлично — прорывная тематика, исследование может создать предпосылки для формирования новых научных направлений; хорошо — перспективная тематика, исследование актуально с точки зрения динамичного развития существующего научного направления; средне — современная популярная тематика; ниже среднего — рутинная тематика, исследование актуально для уточнения существующих научных результатов; плохо — научная значимость и актуальность тематики сомнительна или неочевидна.



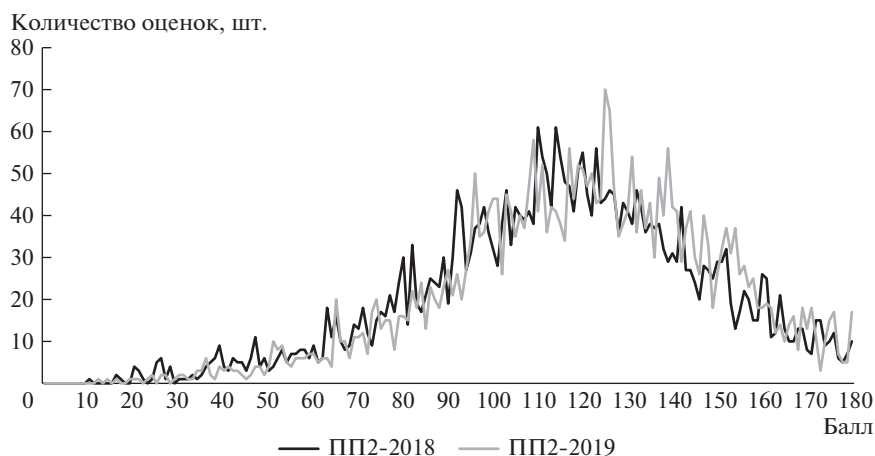


Рис. 1. Распределение экспертных баллов в конкурсах ПП2-2018 и ПП2-2019

перта, именно по этому критерию допустима наибольшая вариативность мнений о проекте. Вместе с тем даже здесь сохраняется определённая стабильность в распределении оценок с отклонениями, не превышающими 3% (табл. 5).

Общие оценки, выставляемые проектам самими экспертами по пятибалльной шкале, так называемые интегральные оценки (табл. 6), также показывают отсутствие существенных изменений. Чуть более высокие оценки конкурса ПП2-2019 можно объяснить тем, что в нём участвовало 157 заявок (13% от общего числа), подготовленных руководителями, которые успешно выполнили до этого двухгодичные проекты по первому мероприятию Президентской программы научных исследований. Логично предположить, что уровень таких заявок, подготовленных уже побеждавшими в конкурсе РНФ руководителями, выше среднего. Если исключить их из сопоставления (столбец ПП2-2019\* в таблице 6), то распределение интегральных оценок в конкурсах 2018 и 2019 гг. становится ещё ближе.

Анализ массива оценок даёт, конечно же, только усреднённую картину. Детальное рассмотрение требует анализа расхождения оценок, выставляемых экспертами по одному проекту.

В большинстве случаев наличие разных мнений экспертов в оценках проекта и их обсуждение необходимо для проведения качественного конкурсного отбора. Именно это позволяет членам экспертного совета тщательно рассмотреть проект. Причём полярные мнения (отличающиеся в нашем случае на 3 и более баллов), равно как и полное единодушие экспертов в оценках, не должны доминировать. Большая доля таких суждений будет свидетельствовать как о значительной неравномерности квалификационных характеристик экспертов, так и об отсутствии единых методических подходов к оценке проектов. В то

же время преобладание полного согласия экспертов на большом массиве проектов, скорее всего, укажет на непригодность критериев оценки, лишаящих экспертов возможности выразить своё компетентное мнение и подменяющих его формальной оценкой. Однако на методологию и критерии оценки процедура подбора экспертов не влияет. Можно также предположить, что более точный подбор экспертов по квалификации обеспечит прежде всего приближение оценок экспертов к нормальному статистическому распределению.

Были проанализированы расхождения максимальной и минимальной интегральных оценок экспертов по каждому проекту рассматриваемых конкурсов (табл. 7). Автоматический подбор добавил единодушия в оценки экспертов. На 1% из-

Таблица 5. Распределение оценок экспертов по критерию “Уровень научной значимости и актуальности тематики проекта”, %

Оценка	ПП2-2018	ПП2-2019
Отлично	11.0	11.6
Хорошо	53.5	56.0
Средне	26.1	24.4
Ниже среднего	6.6	5.9
Плохо	2.8	2.1

Таблица 6. Распределение интегральных оценок экспертов, %

Оценка	ПП2-2018	ПП2-2019	ПП2-2019*
1	2.5	2.1	2.3
2	8.6	7.4	8.1
3	28.9	25.9	27.4
4	35.6	37.4	37.0
5	24.4	27.2	25.2

**Таблица 7.** Расхождение интегральных оценок экспертов по проекту, %

Расхождение, оценка	ПП2-2018	ПП2-2019
Нет	14.4	16.3
1	46.7	47.6
2	30.8	27.0
3	6.9	7.9
4	1.2	1.2

менилась доля проектов с расхождениями оценок в 3 балла. В целом же картина разногласий практически не претерпела значимых изменений. Эксперты в большей степени были единогласны в определении высоких оценок — 4 и 5 (в 37% и 36% случаях), мнения об оценке 3 совпали в 25% случаев, об оценках 1 и 2 — суммарно в 2% случаев.

Документами РНФ регламентирована возможность руководителей заявок представить в фонд возражения против выводов, содержащихся в экспертных заключениях. Их количество также может рассматриваться как показатель качества экспертизы. В РНФ доля возражений традиционно не превышает 1% от количества проводимых в рамках конкурса экспертиз. Она составила 0.31% для конкурса ПП2-2018 и 0.28% для конкурса ПП2-2019. Данный показатель можно охарактеризовать как низкий и свидетельствующий в пользу доверия учёных экспертизе фонда.

Как и предполагалось, применение компьютерной и автоматических процедур существенно ускорило процесс подбора и назначения экспертов. Фактически время, потраченное на ручной подбор, при автоматическом распределении может быть уделено содержательному анализу поступивших заявок.

\* \* \*

Первый опыт использования автоматического подбора и назначения экспертов позволяет сделать несколько выводов, которые, с одной стороны, положительно характеризуют дальнейшую возможность его применения, с другой — выявляют ряд проблемных моментов, требующих совершенствования системы. Конечно, эти выводы характеризуют лишь два рассматриваемых случая и для их подтверждения требуется дальнейший анализ.

В первом опыте использования системы автоматического назначения экспертов (конкурс ПП2-2018) координаторам была предоставлена возможность коррекции подготовленных компьютером предложений. Оказалось, что в большинстве случаев координаторы соглашались с выбранными компьютером кандидатурами. Зна-

чимостью фактора информированности координатора о наличии конфликтов интересов у некоторых экспертов, в том числе неформальных, оказалась переоценённой. По крайней мере, эта информированность не обеспечивала меньшее количество отказов по причине конфликта интересов.

Качество содержательной оценки не претерпело существенных изменений при отказе от участия человека в подборе экспертов. Наоборот, в некоторых случаях наблюдалось незначительное улучшение показателей.

Для совершенствования автоматического отбора необходимо увеличивать базу экспертов и уточнять сведения о них. В настоящее время в базе российских экспертов РНФ около 6 тыс. учёных. Ежегодно фонд приглашает руководителей поддержанных проектов и других заинтересованных специалистов пополнить ряды экспертов РНФ. По нашим оценкам, с учётом детализации классификатора, количества и тематической структуры поступающих на конкурсы заявок, база экспертов фонда должна включать около 10 тыс. учёных. Это обеспечит и более точный подбор, и комфортные условия работы.

Существенное значение имеют уточнение и унификация информации об экспертах. В первую очередь это касается отнесения научных интересов эксперта к тем или иным кодам классификатора РНФ и его ключевым словам. Считаем, что для развития необходима методическая работа с экспертами, обеспечивающая единый подход, способный точнее сопоставлять экспертов и поступающие в фонд заявки. При определении научных интересов эксперта за основу могут быть взяты его публикации в течение последних 5–10 лет. Например, соответствие ключевых слов эксперта ключевым словам его последних публикаций может однозначно характеризовать его интересы. В любом случае, при определении кодов классификатора и эксперты фонда, и руководители заявок должны руководствоваться едиными подходами.

При автоматизации необходимо введение в алгоритм подбора экспертов дополнительных параметров, которые предусматривали бы возможность гибкого его использования в зависимости от задач. Скажем, введение такого показателя, как среднее время проведения экспертизы, полезно и для оптимизации сроков, и для отсеивания случаев, когда экспертизы проводятся формально, в нереалистично короткие сроки.

Нагрузка экспертов также должна учитываться в алгоритме, но целесообразно предоставить самому эксперту право определять конкретное значение этой нагрузки — то количество проектов, которое одновременно может быть направлено ему в работу.

Кроме того, в алгоритме может учитываться и средний балл, выставяемый экспертом заявкам. Конечно, этот показатель следует включать только после достижения определённого количества экспертиз, когда средний балл позволяет оценить настрой эксперта и показать, что в нём доминирует — критика или панегирик. Такой индикатор может исключить случаи, когда проект направляется критически настроенным экспертам. При этом не стоит забывать о необходимости анализа и оценки значимости влияния каждого параметра на результаты отбора и экспертизы.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность руководителям секций экспертного совета РНФ за участие в разработке системы автоматизированного подбора экспертов и обсуждении результатов её применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Социально-политическая функция национальных научных фондов / Под ред. А.В. Шестопала, В.И. Коннова. М.: МГИМО-Университет, 2016.
2. *Гиляревский Р.С., Шапкин В.Н., Белоозеров А.В.* Рубрикатор как инструмент информационной навигации. СПб.: Профессия, 2008.
3. Российский научный фонд. Классификатор Фонда. <http://rscf.ru/ru/classification/> (дата обращения 18.10.2019).
4. Портал РФФИ. Классификатор РФФИ для конкурсов 2019 года. [https://www.rfbr.ru/rffi/ru/reference\\_materials](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/reference_materials) (дата обращения 18.10.2019).
5. DFG Classification of Scientific Disciplines, Research Areas, Review Boards and Subject Areas (2016–2019). [https://www.dfg.de/download/pdf/dfg\\_im\\_pro-](https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/gremien/fachkollegien/amtsperiode_2016_2019/fachsystematik_2016-2019_en_grafik.pdf)
6. Graduate Research Fellowship Program. Program Solicitation NSF 19-590. <https://www.nsf.gov/pubs/2019/nsf19590/nsf19590.htm> (дата обращения: 18.10.2019).
7. *Водяницкая Е.А.* Регулирование экспертизы научных проектов в Немецком научно-исследовательском сообществе // Вестник МГИМО-Университета. 2012. № 5. С. 227–234.
8. Порядок проведения экспертизы научных, научно-технических программ и проектов, представленных на конкурс Российского научного фонда. [http://rscf.ru/fondfiles/documents/Poryadok\\_eksper-tizi.pdf](http://rscf.ru/fondfiles/documents/Poryadok_eksper-tizi.pdf) (дата обращения: 18.10.2019).
9. Положение об экспертизе. <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/documents> (дата обращения 18.10.2019).
10. *Moghissi A., Love B., Straja S.* Peer Review and Scientific Assessment. Alexandria: Institute for Regulatory Science, 2013.
11. Grant Review in Focus. Global State of Peer Review Series. <https://publons.com/community/gspr/grant-review> (дата обращения 18.11.2019).
12. *Шестопал А.В., Коннов В.И.* Практическая эпистемология: роль рецензирования в организации научной деятельности // Вестник МГИМО-Университета. 2014. № 1. С. 198–207.
13. *Chubin D., Hackett E.* Peerless Science: Peer Review and U.S. Science Policy. N.Y.: State University of New York Press, 1990.
14. Report on the National Science Foundation's Merit Review Process Fiscal Year 2017. <https://www.nsf.gov/nsb/publications/2018/nsb201915.pdf> (дата обращения 18.10.2019).
15. Peer reviewers unmasked: largest global survey reveals trends. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06602-y> (дата обращения 18.10.2019).

---

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

---

**МОНИТОРИНГ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ИЛИ МОНИТОРИНГ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.  
КАК ПРАВИЛЬНЕЕ?**

© 2020 г. А. С. Кулагин

*Институт проблем развития науки РАН, Москва, Россия*

*E-mail: as.kulagin2016@yandex.ru*

Поступила в редакцию 24.10.2019 г.

После доработки 15.12.2019 г.

Принята к публикации 12.03.2020 г.

В статье проанализирована существующая система мониторинга и оценки результативности деятельности научных организаций, обоснована целесообразность перехода от мониторинга научных организаций к мониторингу состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения.

*Ключевые слова:* мониторинг, научная организация, научные исследования.

**DOI:** 10.31857/S0869587320060079

В 2019 г. исполнилось 10 лет с тех пор как решением Правительства Российской Федерации<sup>1</sup> была введена в действие система мониторинга и оценки результативности деятельности научных организаций. До 2013 г. министерства и ведомства, имеющие в своем подчинении научные организации, эту оценку давали самостоятельно. Точно так же действовала и Российская академия наук в отношении академических институтов. После реформы РАН и создания в 2013 г. ФАНО функция проведения мониторинга и оценки результативности перешла к этому агентству. С 2014 г. Прави-

тельство РФ с целью большей объективности передало функцию оценки Межведомственной комиссии при Минобрнауки России.

По результатам работы этой комиссии все научные организации страны разделены на три категории: к первой отнесены успешно работающие научные организации, ко второй “среднячки”, а к третьей — организации, утратившие возможность проводить исследования. Поскольку итоги мониторинга хорошо известны, останавливаться на них мы не будем, а сразу перейдём к тому, что, на наш взгляд, нужно делать дальше.

К сожалению, именно этот аспект в решениях Правительства РФ никак не определён, и эта неопределённость порождает вопросы.

Первый из них. Всем организациям первой категории было поручено разработать концепцию развития. К организациям второй и тем более третьей категории такого требования не предъявлено. Хотя, казалось бы, должно быть в точности наоборот: если научная организация работала не вполне удовлетворительно, но её научные направления государству нужны, то необходимость выхода из критического состояния должна озаботить и её саму, и тем более органы государственной власти. Причины слабой работы того или иного института могут быть самые разные, в каждом случае свои. Соответственно и пути преодоления недостатков также сугубо индивидуальны. Это и должно быть предметом концепции разви-



КУЛАГИН Андрей Сергеевич — доктор экономических наук, главный научный сотрудник ИПРН РАН.

тия научной организации, причём концепции, согласованной со своим министерством или ведомством, поскольку без их помощи ликвидировать недостатки в работе часто невозможно.

Кстати говоря, вопрос о том, кто определяет — нужны ли государству те или иные научные направления, требует отдельного рассмотрения. В СССР такие функции в отношении прикладной и фундаментальной тематики выполняли Государственный комитет по науке и технике и Академия наук СССР. Сейчас такая координирующая функция не возложена ни на один орган государственного управления. Конечно, было бы абсурдно, если бы перспективность, а следовательно, и необходимость конкретного фундаментального направления определяли государственные функционеры, а не специалисты-учёные. В современных условиях такой вопрос требует методологического и организационного решения.

Второй вопрос: как быть с организациями, отнесёнными к третьей категории? В принципе, если научная организация утратила способность проводить исследования, то её следует ликвидировать. Однако это можно сделать далеко не всегда. Например, к третьей категории был отнесён Дагестанский научный центр (аналогичные центры есть и в других национальных республиках Российской Федерации). Упразднить Дагестанский центр, когда его аналоги продолжают работать, значит в определённом смысле дискриминировать народ Дагестана, что прямо противоречит Конституции РФ. В итоге его сохранили, но финансирование свели к минимуму. Выход из подобных коллизий в нормативных актах не определён, но в Академии наук начинает складываться мнение, что такая ситуация означает необходимость принятия мер по улучшению работы научной организации, а совсем не о её ликвидации.

Третий вопрос. Распределение по категориям решающим образом зависит от выбранного набора показателей, точнее, от формулировки каждого из них. Проиллюстрируем это на примере случайной выборки институтов разных отделений РАН. Цифровые показатели в обеих таблицах — среднее значение за 5 лет. В таблице 1 приведены данные о публикациях и цитируемости за 2010–2014 гг., когда Академия наук самостоятельно проводила оценку организаций. В таблице 2 — сведения о тех же институтах за 2013–2017 гг., когда мониторинг перешёл в ведение ФАНО. Различие данных объясняется тем, что в первом случае институты указывали количество публикаций и цитируемости за отчётный год, во втором случае уточнение, что речь идёт об отчётном годе, было снято. Соответственно, институты стали указывать значение показателя нарастающим итогом. То есть появилась возможность учитывать ссыл-

ки не только на свежие публикации, но и на все публикации предшествующих лет. Оба варианта учёта имеют свои достоинства и недостатки. По нашему мнению, первый из них предпочтительнее. Но в данном случае следует обратить внимание на то, что ФАНО изменило формулировку показателей без учёта мнений специалистов по наукометрии. В 2019 г. Минобрнауки России произвело пересмотр набора показателей и даже получило формальное одобрение РАН, однако никакого внятного их обсуждения с научной общественностью проведено не было.

Четвёртый вопрос. Система оценки результативности используется во многих развитых странах, в том числе в Европейском союзе (этот опыт подробно проанализирован в работе [1]). Но в отличие от нашей системы, в ЕС используется всего четыре показателя для оценки результативности фундаментальных исследований и восемь — для прикладных. При этом никаких категорий по итогам оценки научным учреждениям не присваивается.

Понятно, что наша ситуация отличается от европейской. После тяжелейших 1990-х годов, закрытия многих ведущих научных институтов и конструкторских бюро, утраты многих перспективных научных направлений, даже с учётом последующего периода восстановления, к сожалению, только частичного, нужно было провести своеобразную инвентаризацию сохранившегося научного потенциала. И то, что многочисленные наукометрические показатели в итоге интегрируются в некую условную единицу “категория научной организации” в принципе вполне понятный вариант. Вопрос в том, целесообразно ли сохранять систему категорий в будущем?

Напомним, что категории научных организаций существовали и в СССР. К первой относились научные организации, разрабатывающие наиболее важные научные проблемы, имеющие общегосударственное значение, ко второй — имеющие важное отраслевое значение, а к третьей — все остальные. Тут важно отметить два момента. Считалось, и совершенно справедливо, что без развития исследований фундаментальных невозможно развитие прикладных. Именно поэтому все организации фундаментального профиля изначально получали первую категорию. Считалось также, что научная организация не имеет права работать плохо — только на передовом уровне. Для его поддержания проводились периодические комплексные проверки с участием не только ведущих учёных соответствующего профиля, но и кадровиков, юристов, специалистов по приборам, охране труда и т.д. Вскрытые в ходе таких проверок недостатки оперативно устранялись.

В нынешней ситуации подход прямо противоположный. Научная организация может работать



**Таблица 1.** Данные о публикациях и цитируемости за 2010–2014 гг.

Институт	Среднегодовое число учтённых публикаций			Среднегодовое число учтённых ссылок		
	Web of Science	Scopus	РИНЦ	Web of Science	Scopus	РИНЦ
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН	87.8	105.2	165.0	219.9	146.6	178.6
Специальная астрофизическая обсерватория РАН	72.0	99.8	135.2	359.0	415.9	361.6
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского	51.0	63.8	118.0	190.7	164.6	199.6
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН	83.6	151.2	227.0	198.6	313.3	327.0
Институт космических исследований РАН	197.2	235.0	358.0	1239.3	1198.6	1213.4
Институт системного анализа РАН	20.0	32.0	111.6	19.9	29.7	61.3
Объединённый институт высоких температур РАН	185.8	227.0	323.8	305.0	410.4	490.4
Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН	84.4	86.8	142.6	115.3	101.3	157.9
Институт биологии гена РАН	50.0	58.2	83.0	247.6	197.0	191.7
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН	82.2	127.4	238.0	100.4	170.4	275.7
Институт социально-экономического развития территорий РАН	0	2.6	19.2	0	6.6	7.1
Институт мировой литературы им. А.М. Горького РАН	0	0.6	46.6	0	0	2.7
Институт Соединённых Штатов Америки и Канады РАН	0.2	0.6	72.4	0	0.6	22.4

весьма средненько или даже совсем плохо, но ей дадут вторую или третью категорию и сохранят финансирование. А как она намерена улучшить работу — неинтересно, концепции развития с неё не спрашивают.

Пятый вопрос. Любая инвентаризация полезна, если по её итогам делается вывод: чего не хватает, а что излишне. Следует учесть, что при слиянии трёх государственных академий в единую Российскую академию наук в её рамках сосуществуют институты со сходной тематикой, но в разных отделениях. Так, в Отделении общественных наук есть Институт экономики агропромышленного комплекса, а в Отделении сельскохозяйственных наук — Институт экономики сельского хозяйства. Подобные примеры есть в отделениях физиологических наук и медицинских наук. Целесообразен ли такой параллелизм, стоит ли объединять институты — нигде не обсуждалось. Вместо этого без серьёзных обоснований слиты во-

едино институты совершенно разного профиля. Так произошло с научными организациями Иркутского научного центра РАН. Пользы от подобного подхода, очевидно, нет.

Вопрос шестой. В 2018 г. в рамках работы по программе РАН “Разработка концепции социально-экономической стратегии России на период до 2050 года (Дерево целей и система приоритетов)” Институтом проблем развития науки РАН был выполнен анализ методологических проблем мониторинга деятельности научных организаций Российской Федерации, ведущих фундаментальные и поисковые исследования. Анализировался весь набор соответствующих нормативных и методических документов. В итоге удалось обнаружить 16 методологических пробелов, недомолвок и противоречий в действующем порядке мониторинга и оценки результативности. Перечислять их в данной статье неуместно, но хотим обратить внимание на то,

Таблица 2. Данные о публикациях и цитируемости за 2013–2017 гг.

Институт	Среднегодовое число учтённых публикаций			Среднегодовое число учтённых ссылок		
	Web of Science	Scopus	РИНЦ	Web of Science	Scopus	РИНЦ
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН	176.0	0.0	567.0	8008.8	0.0	24119.6
Специальная астрофизическая observa- тория РАН	145.4	129.4	142.2	19762.4	12727.2	12722.6
Казанский физико-технический инсти- тут им. Е.К. Завойского	73.3	85.0	259.8	4084.8	3765.5	7905.0
Институт земного магнетизма, ионо- сферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН	136.2	57.6	191.0	6187.0	2933.6	9827.4
Институт космических исследований РАН	281.2	184.0	581.4	29847.0	3440.0	11659.0
Институт системного анализа РАН	226.2	281.2	772.8	4241.8	77.8	18134.2
Объединённый институт высоких темпе- ратур РАН	340.0	353.0	407.8	16581.0	13582.8	19519.6
Институт химии силикатов им. И.В. Греб- енщикова РАН	68.8	31.2	143.2	3736.8	925.0	5413.2
Институт биологии гена РАН	81.8	70.8	87.4	5058.6	3910.6	4395.8
Институт геологии рудных месторожде- ний, петрографии, минералогии и геохи- мии РАН	128.4	136.0	352.8	5429.2	6299.6	16773.2
Институт социально-экономического развития территорий РАН	32.2	19.0	513.4	81.8	120.0	6376.8
Институт мировой литературы им. А.М. Горького РАН	34.0	25.4	579.6	13.0	1.2	20967.0
Институт Соединённых Штатов Аме- рики и Канады РАН	19.8	7.2	294.4	9.0	22.6	7962.4

что при таком количестве пробелов и противоречий считать действующий порядок оценки результативности хотя бы удовлетворительным нельзя. Вопрос о том, как исправить ситуацию Минобрнауки России пока даже не ставится. Напомним, что ещё три года назад обращалось внимание научной общественности на терминологическую путаницу в нормативных актах по оценке результативности [2], однако до сих пор ничего не сделано, чтобы преодолеть указанные недостатки.

Но главное даже не в этом. Как представляется, главным недостатком действующей системы оценки результативности научных организаций является то, что она построена на мониторинге исключительно наукометрических показателей, причём не всегда правильно выбранных, в то время как совокупность научных результатов, полученных за отчётный период, их значимость и инновационная перспектива во внимание не принимаются. Отслеживание наукометрических показателей позволяет всего лишь “измерить

среднюю температуру по больнице”, хотя совершенно очевидно, что в составе научной организации могут быть как успешные, так и малопродуктивные подразделения.

Увлечение органов власти наукометрическими показателями понятно и легко объяснимо. Привлекают их кажущиеся объективность и простота, которые становятся своего рода проклятием для научно-технической сферы России.

А ведь эта сфера отнюдь не исчерпывается научными организациями. Значительная доля исследований проводится в высших учебных заведениях, и довольно часто изыскания в научных организациях и вузах взаимно дополняют друг друга. Например, ВНИИ риса (Краснодарский край) в соответствии со своим уставом занимается фундаментальными исследованиями в области генетики, биотехнологии и физиологии риса, созданием сортов с высокой продуктивностью, совершенствованием технологии семеноводства и возделывания риса. Одновременно Кубанский

государственный технологический университет проводит исследования в области технологий переработки риса. Таким образом, эти две организации полностью охватывают вопросы выращивания и использования риса, иначе говоря, все потребности государства в данной области.

К сожалению, многочисленны случаи ненужного параллелизма, оборачивающегося нерациональным использованием бюджетных средств. Поэтому справедливо ставить вопрос о мониторинге состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения независимо от места их проведения. Увы, подобный подход никакими нормативными правовыми документами пока не предусмотрен.

Очевидно, что прежде чем разрабатывать методику подобного мониторинга, необходимо сформулировать его целевые задачи и базовые принципы, решить методологические проблемы. Но первоочередной вопрос: кто в Российской Федерации возглавит и организует всю работу по мониторингу? И эта проблема не методологическая, а организационная и в какой-то мере политическая.

Если мониторинг ограничить кругом организаций, выполняющих фундаментальные и поисковые исследования, то в его результатах больше всех заинтересована Российская академия наук. В том числе и потому, что львиная доля таких исследований проводится научными организациями РАН и относительно небольшим количеством вузов, а итоги мониторинга важны для определения приоритетов и планирования фундаментальных исследований. Тогда и возглавлять всю эту работу должна РАН.

Если же расширить систему мониторинга на всю научно-техническую сеть России, рассматривая при этом организации, выполняющие фундаментальные и поисковые исследования, как важнейший элемент всей системы, то по логике возглавить эту работу должен орган государственной власти, отвечающий за государственную научно-техническую политику, а именно Министерство науки и высшего образования РФ.

Вопрос о руководстве системой мониторинга далеко не умозрительный. По сути, перечень и формулировки целевых задач и базовых принципов такого мониторинга в решающей степени зависят от того, какой круг исследований должен им охватываться, какой или какие органы будут принимать решения по его итогам. Следует учесть, что если применительно к системе мониторинга организаций, выполняющих фундаментальные и поисковые исследования, выявлено, как упоминалось, 16 методологических проблем, то при расширении этой системы на всю научно-

техническую сеть России перечень таких проблем увеличится.

Целесообразно ли расширение системы мониторинга на всю научно-техническую сферу России? При ответе на этот вопрос целесообразно отталкиваться от понятия “поисковые исследования”. В соответствии с Законом о науке они включают взаимоувязанные ориентированные фундаментальные исследования и прикладные исследования, реализующие результаты таких ориентированных исследований. Если первые выполняются в основном академическими научными организациями, то вторые — широким кругом учреждений, не входящих в РАН, в том числе корпоративными и частными. Поэтому, если ставится цель отследить эффективность поисковых исследований, то в круг организаций, охватываемых системой мониторинга, следует включить не только государственные, но и корпоративные и даже частные организации. По крайней мере те из них, которые работают по государственным заказам.

Тут есть один весьма важный аспект. В случае поисковых исследований организация, выполняющая ориентированные фундаментальные разработки, как правило, заранее связана с той, которая будет продолжать тему, выполнять прикладную часть проекта. В ряде случаев это одна и та же организация; тогда временной интервал между завершением фундаментального исследования и началом прикладного минимален. Но чаще всего адресат фундаментального результата заранее не известен, и временной интервал может быть достаточно большим. В то же время ускорение научно-технического прогресса возможно только в случае быстрого восприятия результата фундаментального исследования прикладной сферой науки. А это, в свою очередь, накладывает определённые требования как на процесс мониторинга, так ещё в большей степени на форму отображения информации о его итогах.

Если уж создавать в Российской Федерации систему мониторинга всех видов изысканий гражданского назначения, то по своей информативности она должна быть максимально полезной и органам государственной власти, и РАН, и научному сообществу в целом, и бизнесу. В конце концов если прикладные научные результаты фундаментальных и поисковых исследований не используются бизнесом, не находят продолжения в конкретных инновациях, значит, всю научно-исследовательскую систему нужно срочно перенастраивать.

Государство заинтересовано в чётком и целостном понимании того, какие исследования выполняются за бюджетный счёт, насколько эффективно использование этих средств, каковы

полученные научные результаты и их инновационный потенциал.

В современной ситуации планирование научных исследований осуществляется разными органами государственной власти независимо друг от друга, без какой бы то ни было координации. Что же касается бюджетных научных фондов (Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда и других), то они, по существу, не имеют системы планирования, а финансируют главным образом инициативные исследования.

Анализ спектра научных исследований, выполняемых одновременно всеми исследовательскими организациями и коллективами России в конкретной научной области, позволил бы понять, какие именно направления реализуются успешно, их результаты перспективны в научном и инновационном плане, а по каким направлениям есть затруднения. В СССР научная сфера включала широкую сеть органов научно-технической информации, систему использования научных результатов. Как союзные, так и республиканские министерства и ведомства несли ответственность за научно-технический прогресс подведомственных отраслей, то есть за то, что ныне принято называть инновациями. Отдельные элементы этой системы сохранились и поныне, созданы некоторые новые структуры, однако стройной системы управления научно-технической сферой сегодня не существует. Экспертный анализ спектра научных исследований не вменён в обязанность ни одному органу государственной власти, ни Российской академии наук.

Тем не менее важно понять, на основе каких данных можно осуществлять мониторинг научных исследований и в какой степени сохранившиеся элементы прежней структуры, а также новые организации в состоянии анализировать перспективы развития исследований и проводить экспертизу полученных результатов. Правильно организованные мониторинг и экспертиза не только помогут выявить пробелы, но и сформулировать предложения относительно того, что именно следует сделать, какой организации целесообразно поручить “закрывать” выявленный пробел. Но ещё более важно на основе анализа хода исследований и их результатов определить перспективные направления, на которых целесообразно сконцентрировать людские и финансовые ресурсы.

Правильно организованный мониторинг и экспертиза помогут выявить параллелизм тематики. В принципе он недопустим, однако в каких-то случаях перед государством может стоять задача скорейшего и эффективного решения конкретной научной или экономической проблемы. В этой ситуации параллельно проводимые в раз-

ных исследовательских организациях научные изыскания можно допустить, внося в научную работу элемент соревнования. Подобная тактика использовалась в советском прошлом в области самолётостроения, атомной, космической и некоторых других отраслях. Такое соревнование позволило Советскому Союзу в отдельных областях занять лидирующие позиции в мире.

Мониторинг состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, безусловно, важен и для самой научно-технической сферы.

Во-первых, роль организаций сектора фундаментальных исследований в инновационном развитии российской экономики определяется именно тем, что полученные в них научные результаты активно используются в прикладной науке в целях развития экономики и социальной сферы. Причём временной интервал между получением фундаментального научного результата и его применением должен быть как можно меньше. Соответственно, необходима система информирования работников прикладной науки о проводимых исследованиях и их результатах, что сократит этот временной интервал, будет способствовать скорейшему применению новых знаний.

Во-вторых, не менее важна и обратная связь. Информация о прикладных исследованиях, в которых возникли какие-либо затруднения, важна для фундаментальной науки: формулируются новые задачи, возможно возникновение новых направлений поиска.

В-третьих, осведомлённость о сходных темах исследований может помочь наладить кооперационные связи, ускорить получение итоговых научных результатов.

Что касается построения системы мониторинга, результаты которого были бы максимально полезны для отечественного бизнеса, то здесь необходимо учитывать, что большинство крупных бизнес-структур, прежде всего государственные корпорации и акционерные общества с преобладающим государственным участием, в большинстве случаев располагают собственными исследовательскими центрами, решающими внутрикорпоративные научно-прикладные задачи. А потому предположительно они в наибольшей степени заинтересованы в результатах мониторинга фундаментальных исследований. Однако для руководящих органов бизнес-структур чаще всего характерно утилитарное отношение к науке: необходимо найти быстрое решение какой-либо технической или технологической проблемы, причём не важно на какой основе — благодаря ли новым фундаментальным знаниям или давно известным научным результатам. В

тактическом плане подобный подход оказывается эффективным, однако стратегия развития бизнеса становится ущербной.

С другой стороны, есть и весьма впечатляющие примеры использования новейших фундаментальных результатов в оборонной промышленности при создании новых типов оружия. Подобный подход в гражданских отраслях ещё более необходим, но аналогичных примеров пока нет.

Преодоление этих недостатков возможно, если как сам процесс мониторинга, так и анализ его данных будут нацелены не только на демонстрацию возможных сфер использования научных результатов, но прежде всего на показ преимуществ их использования.

Средний и малый российский бизнес можно условно разбить на две группы. Первая и пока, к сожалению, малая часть этого бизнеса сама производит некий научно-технический продукт, в том числе в сфере IT-технологий. Лишь в редких случаях такие бизнес-структуры получают государственную поддержку, а потому обязать их участвовать в мониторинге невозможно. Тем не менее заинтересованность в дополнительной рекламе, а возможно, и какие-то налоговые льготы позволили бы их в этот процесс включить, что, безусловно, положительно скажется на полноте информационной базы научных результатов.

Большая же часть малого и среднего российского бизнеса, в том числе занятая производством промышленной или сельскохозяйственной продукции, в нынешних экономических условиях не в состоянии тратить средства на научные исследования. Но в информации о завершённых разработках, новых продуктах и технологиях эта часть бизнеса, конечно, нуждается. Поэтому способы представления итогов мониторинга должны быть выбраны так, чтобы в наилучшей степени удовлетворять соответствующий интерес. А дальше всё будет зависеть от того, на каких условиях малый и средний бизнес сможет приобрести научный результат, какие налоговые льготы предоставит государство.

Целевые установки и базовые принципы мониторинга состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения не могут быть сформулированы, если заранее не определить, на основе каких данных мониторинг может быть осуществлён.

Сегодня такой мониторинг построен на сборе и анализе наукометрических показателей, что для обозначенной нами цели не подходит. И дело не только в том, что принятые в этой системе показатели лишь в малой степени характеризуют важность и значимость научных результатов. Наукометрический подход имеет смысл для анализа сети научных организаций России, то есть для

государства. Бизнесу результаты такого мониторинга малоинтересны.

Высшие учебные заведения в процесс мониторинга не включены. Тем более в него не включены ни временные творческие коллективы, работающие по государственным грантам, ни частные научные организации, использующие бюджетные средства. Помимо прочего, сбор данных для существующей системы мониторинга научных организаций создаёт существенную бюрократическую нагрузку на их аппарат.

Обойти оба этих недостатка можно, если анализировать поток научных публикаций не только по их количеству и цитируемости, но и по содержательной значимости, оценивать все научно-исследовательские проекты, выполняемые за государственный счёт, а также проекты, выполняемые за счёт иных источников финансирования, при условии, разумеется, что для второго типа проектов будет принята некая льготная система.

Уже сегодня в нашей стране существуют структуры, способные такого рода анализ выполнять. ВИНТИ РАН и компания «Научная электронная библиотека», обеспечивающая функционирование системы РИНЦ, концентрируют информацию о научных публикациях и осуществляют её первичный анализ. Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти (ЦИТиС) собирает информацию о научных проектах и их результатах. Что важно, данные о проектах регистрируются сразу при их запуске, имеется возможность уже на этой стадии координировать сходные проекты, привлекать бизнес-структуры к совместному с государством финансированию и т.д. РАН и Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы (РИНКЦЭ) могут осуществлять экспертизу научных результатов и на её основе вырабатывать предложения не только о перспективных научных направлениях, но и о манёвре в необходимых случаях финансовыми и людскими ресурсами.

Помимо перечисленных (ВИНТИ РАН, Научная электронная библиотека, ЦИТиС, РИНКЦЭ) основных организаций, осуществляющих сбор информации о состоянии и тенденциях развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, в этом процессе участвует ещё ряд организаций. В частности, Российская государственная библиотека является получателем так называемого обязательного экземпляра всех российских изданий, в том числе научных. Высшая аттестационная комиссия обладает библиотекой всех кандидатских и докторских диссертаций. Институт проблем развития науки РАН разрабатывает подходы, модели и процедуры выбора приоритетных областей ори-



ентированных фундаментальных исследований академического сектора науки, а также выдвигает предложения по финансированию фундаментальных исследований в нашей стране вне зависимости от того, проводятся эти исследования в академическом секторе науки, вузах или в каких-либо иных организациях.

Таким образом, можно констатировать, что набор институтов, осуществляющих сбор информации, необходимой для мониторинга состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, сегодня в Российской Федерации существует. Но какой-либо системы или хотя бы системности мониторинга этой важнейшей сферы нет: нет единых принципов, механизмов, методик, процедур или планов совместных исследований. В результате органы государственного управления не в состоянии учитывать передовые тенденции развития науки и техники и действуют во многом по старинке, а это негативно сказывается на экономике страны.

Ещё раз подчеркнём, что выбор моделей и процедур работы системы мониторинга невозможен, пока не определены её целевые установочные и базовые принципы. Их предстоит сформулировать, а затем облечь в государственные решения.

Тем не менее даже в существующих реалиях можно сделать два достаточно очевидных вывода.

Первое. Мониторинг нужен не сам по себе, а для того чтобы разумно принимать финансовые, юридические, организационные и иные решения, которые способствовали бы развитию научно-технической сферы России. Если не будет обеспечена полнота и достоверность информации, положенной в основу мониторинга, то управленческие решения вместо пользы могут принести вред. Организационная схема сбора, контроля и предварительного анализа информации должна обеспечить такую полноту и достоверность, поэтому все организации, включённые в схему, должны работать как единое целое.

Второе. Хотя указанные организации работают удовлетворительно, из-за отсутствия системности результат их деятельности не просто значительно меньше, чем мог бы быть, а практически нулевой. Имеющиеся ресурсы, в том числе кадровые, с точки зрения обеспечения государственных интересов используются далеко не достаточно.

Разберём оба эти изъяна более подробно, начав с проблемы учёта и мониторинга научных публикаций — основной формы представления результатов исследований и их передачи на экспертизу научному сообществу для соотнесения с наличным массивом научного знания (критика, оценка, интерпретации и т.п.).

К научным публикациям принято относить:

- журнальные статьи и публикации докладов на научных форумах;
- сообщения, обзоры периодики (проблемные, аналитические и т.д.) и обзоры научных собраний за какой-либо период;
- тематические сборники, монографические статьи, индивидуальные и коллективные монографии;
- учебники, учебные пособия, хрестоматии, научно-популярное изложение содержания дисциплины и т.п.

Некоторые специалисты считают, что публикации — это любые тексты, представленные не только в печатном виде, но и на электронных носителях. Необходимым и достаточным условием отнесения работы к числу научных публикаций, по их мнению, является указание номера ISBN или ISSN, редактора и установленного тиража. При такой трактовке перечень видов научных публикаций существенно расширяется. Например, ректорат НИУ «Высшая школа экономики» (протокол расширенного заседания ректората от 21 июня 2010 г. № 8) утвердил следующий перечень видов научных публикаций:

- научные монографии и брошюры;
- главы и статьи в научных монографиях и сборниках;
- публикации в научных журналах, включая электронные научные журналы, зарегистрированные в НТЦ «Информрегистр» в порядке, согласованном с Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки;
- рецензии в научных журналах;
- учебники и учебные пособия;
- комментарии к законам (для юристов);
- предисловия, послесловия; комментарии к научным изданиям;
- препринты;
- working papers (препринты) в постоянной серии, издаваемой зарубежным университетом и/или международной организацией (уровня NBER, IZA, CEPR, WB);
- научные доклады, изданные отдельно или в научных сборниках.

Предлагается, кроме того, учитывать в числе публикаций кандидатские и докторские диссертации, диссертации на степень магистра, авторефераты этих диссертаций, а также курсовые студенческие работы и выпускные работы бакалавров.

Действительно, следует отметить, что в ряде стран (США, Канада, Великобритания и других) представление текста на официальном сайте крупного университета считается полноценной научной публикацией. В России подобное пони-

мание пока не утвердилось. Да и в целом общего перечня видов научных публикаций на уровне Правительства РФ или хотя бы РАН не существует. Таким образом, очевидна актуальность методологической проблемы — формулирования общепринятого в российском научном сообществе перечня видов научных публикаций.

Российский индекс научного цитирования значительно полнее, чем любая другая аналогичная информационная система, включая WoS и Scopus, учитывает публикации в российских научных журналах. Но при этом практически не принимаются во внимание виды научных публикаций, указанных Высшей школой экономики, в том числе:

- монографии и сборники статей, включая содержащиеся в них ссылки на научные публикации;
- материалы научных конференций и симпозиумов; даже если в этих материалах публикуются только базовые доклады, то и здесь обязательно присутствуют ссылки на публикации как автора доклада, так и других учёных;
- кандидатские и докторские диссертации и авторефераты, в которых всегда присутствуют списки использованных источников;
- ссылки на публикации, содержащиеся в научных отчётах, регистрируемых в ЦИТиС;
- другие виды публикаций, например курсовые и дипломные работы.

Соответственно, показатели публикационной активности и цитирования получаются сильно заниженными.

Исправить ситуацию по первым двум указанным позициям без особых усилий могло бы включение в общую систему мониторинга Российской государственной библиотеки (РГБ). Она располагает всеми изданиями научных монографий, энциклопедий, сборников и материалов конференций. Учитывая, что на базе РГБ в рамках развития цифровой экономики начала создаваться Российская электронная библиотека, то уже на стадии её формирования следовало бы предусмотреть возможность трансляции необходимых данных в ту организацию, которая в рамках системы мониторинга будет обобщать все данные о публикациях и цитировании.

Наиболее полными сведениями о кандидатских и докторских диссертациях располагает Высшая аттестационная комиссия (ВАК) России, как, впрочем и РГБ. И там, и там есть электронные версии диссертаций. Предусмотреть передачу необходимых данных в организацию, которая в рамках системы мониторинга обобщает данные о публикациях и цитировании, из ВАКа или из РГБ — вопрос чисто технический.

Существенно сложнее обстоит дело с магистерскими диссертациями, тем более с учётом цитирования в студенческих курсовых и дипломных работах. И дело не только в том, что какой-либо общей межвузовской базы данных по всем таким работам не существует, но ещё и в том, что традиция рассматривать эти работы как научное исследование в России не сложилась. Думаю, это неправильно. В отличие от рефератов, в которых есть только цитирование других авторов, курсовая работа, а тем более дипломная, представляет собой пусть ученическое, но всё же собственное исследование. Почему же не рассматривать его как научную работу и не учитывать содержащиеся в ней ссылки на результаты других работ? Тем более следует учитывать рефераты, цитирование и ссылки из магистерских диссертаций. Во всём мире магистратура рассматривается как подготовка к научной работе. Предусмотрены даже специальные курсы по основам научной деятельности. Россия, присоединившись к Болонскому процессу, ввела магистратуру, но пока рассматривает её лишь как вторую стадию высшего образования, а не как подготовительный этап исследовательской деятельности.

Выходов здесь может быть два. Либо создание у нас в стране единой базы данных курсовых, дипломных работ и магистерских диссертаций всех высших учебных заведений Российской Федерации; целесообразно создать такую базу при Минобрнауки России, и если дополнить её по аналогии с ВАКом некой автоматизированной антиплагиатной системой, то польза будет не только в полноте учёта, но и в объективности документов о высшем образовании. Либо организация некоего портала, аналогичного portalу государственных услуг. Там, как известно, после однократной регистрации и через единый вход можно получить доступ к базам данных многих органов государственного управления.

Создание подобных баз данных потребует нескольких лет и принятия нормативных правовых актов, но этот путь следует обязательно пройти.

Особого внимания заслуживает вопрос об учёте научных публикаций в электронных информационных базах. Часть электронных научных журналов зарегистрирована в НТЦ “Информрегистр”. Центр находится в ведении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Основное направление деятельности этой организации — государственная регистрация обязательных федеральных экземпляров электронных изданий. Хотя порядок учёта научных электронных изданий “Информрегистром” согласован с Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки, экспертное мнение Российской академии наук по этому вопросу не

запрашивается. Поэтому в список учётных центров изданий легко могут попасть псевдонаучные электронные журналы. Чтобы преодолеть этот недостаток следует как минимум получать экспертное заключение РАН о соответствии предлагаемого к регистрации электронного издания критериям научности.

В целом надо установить некий порядок учёта электронных научных изданий и приравнять публикации в них к традиционным печатным версиям журналов. С этой целью Российская академия наук рассматривает предложения научных организаций и высших учебных заведений о включении их электронных изданий в общегосударственный перечень и даёт своё заключение; материалы в этих изданиях публикуются с согласия учёного (научно-технического совета) организации.

Учёт ссылок на публикации, содержащиеся в научных отчётах, регистрируемых в ЦИТиС, не предполагает технических трудностей. Отчёты в ЦИТиС поступают в электронном виде, поэтому наладить передачу данных об использованных источниках несложно.

Если реализовать высказанные предложения, то можно создать общероссийскую информационную базу всех видов научных публикаций (как бумажных, так и электронных), включающую публикации всех уровней — от студенческих курсовых до работ ведущих учёных.

Какую из двух организаций — ВИНТИ РАН или компанию “Научная электронная библиотека” — целесообразно выбрать в качестве базовой? В пользу ВИНТИ РАН можно привести два аргумента: во-первых, государственный организационно-правовой статус; во-вторых, многолетний опыт работы с рефератами научных публикаций и, соответственно, обширная ретроспективная база данных, а также высокая квалификация научного персонала, позволяющая проводить мониторинг развития того или иного научного направления. В пользу компании “Научная электронная библиотека” говорит наличие достаточно развитой информационной системы сопоставления публикаций и цитирования в российских научных изданиях с ведущими зарубежными информационными системами.

Имея в виду эти обстоятельства, предпочтительным вариантом представляется следующий. Компания “Научная электронная библиотека” во взаимодействии с ЦИТиС, РГБ, ВАКом, пока ещё не реализованной базой студенческих курсовых и дипломных работ, магистерских диссертаций при Минобрнауки России обеспечивает сбор информации о всех научных публикациях и цитировании, а также ведёт статистическую обработку этой информации, в том числе с учётом данных, содержащихся в зарубежных информационных

системах. ВИНТИ РАН на основе принятой рубрикации ведёт базу данных рефератов всех научных публикаций с добавлением, по данным компании “Научная электронная библиотека”, перечня всех ссылок и цитирований. При этом должна быть предусмотрена возможность лёгкого перехода от реферата данной публикации как к предшествующим, так и к последующим, содержащим ссылки на данную публикацию. Именно такой порядок позволит отслеживать развитие каждого научного направления, иначе говоря, осуществлять мониторинг состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения. Таким путём может быть создана не только единая база научных публикаций российских учёных, но и обеспечен первичный анализ данных этой базы. В частности, легко будет определить список наиболее цитируемых публикаций и наиболее цитируемых специалистов.

Если научные публикации российских учёных будут более полно отражаться в отечественных базах данных, то, может быть, иностранные информационные системы вообще не следует принимать во внимание? И Web of Science, и Scopus, безусловно, полнее учитывают ссылки на публикации в зарубежных и международных журналах, чем РИНЦ. Если ещё раз взглянуть на таблицы 1 и 2, то отчётливо видно, что по некоторым институтам (Специальная астрофизическая обсерватория, Институт космических исследований РАН, Институт биологии гена РАН и др.) показатели ссылок в международных системах превысили показатели в РИНЦ. А это значит, что зарубежные специалисты проявили интерес к научным результатам наших учёных, что, в свою очередь, свидетельствует: эти результаты соответствуют мировому уровню. Таким образом, отказываться ни от чего не нужно — иностранные и отечественные базы данных дополняют друг друга.

Приведённый пример, разумеется, не исчерпывает возможности анализа данных отечественной системы учёта публикаций и зарубежных систем. Виды и формы анализа предстоит определить при создании соответствующей методологии. Однако понятно, что такой анализ полезен и информативен, поэтому сама его возможность должна рассматриваться в качестве базового принципа мониторинга.

Перейдём теперь к проблеме экспертизы научных результатов. Как известно, все научные отчёты регистрируются в Единой государственной информационной системе учёта научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (ЕГИСУ НИОКР) [3]. Там же в реферативной форме описывается полученный научный результат или

результаты [4]. Ежегодно в ЕГИСУ НИОКР регистрируется несколько десятков тысяч результатов.

Выше уже отмечалось, что осуществлять экспертизу научных результатов и вырабатывать на этой основе предложения о перспективных научных направлениях и о манёвре в необходимых случаях финансовыми и людскими ресурсами потенциально могут две организации — РАН и РИНКЦЭ. Однако выполнение важнейшей функции — оценки научных результатов, полученных за счёт средств федерального бюджета, почему-то возложено исключительно на Российскую академию наук.

По планам исследований, государственным заданиям и государственным контрактам выполняются не только фундаментальные и поисковые исследования, входящие в сферу интересов РАН, но большое количество прикладных и опытно-экспериментальных разработок. Среди членов РАН и даже в коллективах научных организаций, имеющих в своём названии соответствующую аббревиатуру, может просто не быть специалистов, способных провести экспертизу или даже упрощённую оценку полученных научных результатов. Более обоснованным представляется разделение всех исследований, выполняемых за бюджетные средства, на два блока: экспертизу или оценку результатов фундаментальных и поисковых исследований проводит Российская академия наук; экспертизу или оценку результатов прикладных исследований и опытно-экспериментальных разработок проводит РИНКЦЭ. При этом методология экспертизы и даже шкала оценок научных результатов хотя и должны быть построены на общих принципах, но в деталях могут различаться. Например, применительно к результату фундаментального исследования вряд ли есть смысл ставить вопросы об инновационном потенциале или о сферах экономики, где возможно применение результата. А применительно к прикладному исследованию такие вопросы не только правомерны, но и необходимы.

И в первом, и во втором случае важно, чтобы экспертиза не ограничивалась собственно оценкой конкретного результата, а ещё и формулировала предложения как о перспективных научных направлениях, так и о манёвре в необходимых случаях финансовыми и людскими ресурсами.

Подводя итоги, можно высказать следующие соображения.

Существующий порядок мониторинга и оценки результативности деятельности научных организаций имеет множество пробелов и методологических недостатков. Особое неприятие научно-го сообщества вызывает система категорий, присваиваемых учреждениям по итогам мониторинга. Думаю, можно сохранить его систему, существенно сократив количество показателей, а в перспективе отказаться от присвоения институтам категорий, как это сделано в странах ЕС.

Мониторинг состояния и тенденций развития научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения может быть достаточно эффективно построен на основе данных о научных публикациях и информации о результатах исследований, выполняемых за бюджетные средства.

Организации, которые могли бы осуществлять сбор и первичный анализ всей этой информации в Российской Федерации, существуют. Каких-либо новых создавать не требуется. Однако функции этих организаций необходимо увязать в единую систему, каждый элемент которой имел бы чётко определённые функции, права и обязанности.

Разработка предложений по созданию системы мониторинга, а тем более реализация такой системы безусловно положительно повлияют на механизмы формирования государственной научно-технической и инновационной политики, методологии анализа, оценки и прогнозирования научного, научно-технического и технологического развития страны, совершенствование системы индикаторов и критериев состояния и результативности науки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кулагин А.С. Оценка и самооценка научной организации. Теория и практика. М.: ИПРАН РАН, 2018.
2. Кулагин А.С. О терминологической путанице в оценке результатов научной деятельности // Вестник РАН. 2016. № 8. С. 698–705.
3. Майданник О.В., Куклин Е.В. Единая государственная информационная система учёта научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (ЕГИСУ НИОКР) как часть цифровой экономики // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 5. С. 404–407.
4. Кулагин А.С. Что такое научный результат, как его регистрировать и оценивать // Инновации. 2018. № 12. С. 88–93.

## ПРИРОДОПОДОБНЫЕ И КОНВЕРГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЛИТОСФЕРЫ

© 2020 г. К. Н. Трубецкой<sup>a,\*</sup>, В. Н. Захаров<sup>a,\*\*</sup>, Ю. П. Галченко<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Институт комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН,  
Москва, Россия

\*E-mail: krasavin\_08@mail.ru

\*\*E-mail: dir\_ipkonran@mail.ru;

\*\*\*E-mail: schtrek33@mail.ru

Поступила в редакцию 11.03.2020 г.

После доработки 20.03.2020 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

Происходящие в последние годы изменения в общественном сознании неизбежно приводят к экологизации мышления во всех сферах человеческой деятельности. Наиболее наглядное отражение этого явления — нарастающий интерес к природоподобным технологиям, с которыми связывают основные надежды на решение глобального экологического кризиса, порождённого продолжительным антагонистическим противостоянием техно- и биосферы.

Рассматривая понятие “природоподобные технологии” как обозначение генерального направления модернизации общетехнологической парадигмы, необходимо выделить по признаку наличия или отсутствия у применяемых нами технологий прямых аналогов в живой природе два конкретных направления: во-первых, построение технологий на основе дублирования в техносфере эффективных процессов, наблюдаемых в живой природе (природовоспроизводящие технологии); во-вторых, создание технологических систем за счёт переноса в техносферу эффективной функциональной структуры обращения вещества и энергии в биологических системах (конвергентные технологии).

Применительно к проблеме экологизации технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса методология создания экологически сбалансированной технологии как полиобъектного кластера строится на известных положениях гомеостатики, то есть путём поэтапного формирования технологического гомеостата на основе структуры гомеостата биологического с заменой его содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги. Результат такой трансформации — построение конвергентной горной технологии комплексного освоения месторождений. Её применение обеспечит разработку технических систем, позволяющих ограничивать внешние экологические воздействия благодаря постэксплуатационному самовосстановлению фитоценозов естественной биоты.

**Ключевые слова:** литосфера, минеральные ресурсы, комплексное освоение недр Земли, природоподобные технологии, гипотеза, гомеостатика, биотехнологические принципы, конвергентная горная технология, природно-технические системы, кластеры, экологическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0869587320050102



ТРУБЕЦКОЙ Климент Николаевич — академик РАН, главный научный сотрудник ИПКОН РАН. ЗАХАРОВ Валерий Николаевич — член-корреспондент РАН, директор ИПКОН РАН. ГАЛЧЕНКО Юрий Павлович — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН.

Главное антагонистическое противоречие между биологической сущностью человека и абиологичными способами получения им энергии Солнца для создания пищевой базы и среды своего обитания — определяющий фактор, формирующий образ нашей технократической цивилизации. Её развитие на основе идей безграничного роста и удовлетворения потребностей индивидуума привело к тому, что в экосистеме “планета Земля” возникла новая форма развития биосферы — антропогенный кризис. Такие кризисы проявлялись на всех этапах развития человеческого общества, они носили разный характер, но имели одну причину: несоответствие уровня и структуры потребления человека ресурсным возможностям естественной биоты нашей планеты [1]. Выходы из этих кризисов всегда были связаны со сменой технологических укладов [2].

В области горных наук фундаментальное значение имеет понятие *комплексного освоения недр*. Данное понятие относится к элементам вариативной части учения о литосфере и опирается на знания базовой части наук о Земле. Здесь тесно увязаны все основные направления исследований в области техногенного изменения литосферы в процессе получения сырьевых и энергетических ресурсов, которые обеспечивают существование и развитие антропосферы. Поэтому вполне естественно, что этапность этого развития во времени предопределила смысловую динамику внутреннего содержания понятия комплексного освоения недр.

Как фундаментальная научная проблема и актуальное направление исследований это понятие было впервые сформулировано академиком А.Е. Ферсманом [3]. Чуть позже, академиками Н.В. Мельниковым и А.В. Сидоренко смысл комплексного освоения минеральных ресурсов литосферы был раскрыт и обоснован с позиций государственной значимости. Цель такого освоения была определена как укрепление минерально-сырьевой базы страны, что, в свою очередь, предполагало производство широкой номенклатуры товарной продукции на основе повышения полноты и экономической эффективности извлечения полезных ископаемых в процессе их добычи и переработки [3, 4].

Второй этап трансформации понятия комплексного освоения недр связан с трудами академика М.И. Агошкова, который систематизировал представления о *ресурсном потенциале литосферы* и предложил рассматривать проблему с двух позиций: с одной стороны, полного использования осваиваемых георесурсов (не только полезных ископаемых), с другой — сочетания существенно различных способов их добычи. Имелось в виду, что на этой основе может быть достигнут опти-

мальный народно-хозяйственный и социальный эффект от промышленного освоения минеральных ресурсов [3, 5].

На третьем этапе исследования академика К.Н. Трубецкого позволили включить в состав комплексного освоения недр ещё и процессы создания новых ресурсов, в том числе путём перевода потенциальных ресурсов (то есть не полностью выявленных и оценённых) в реальные. Это потребовало целенаправленного изменения условий доступа к минеральным образованиям, их качества, а также параметров, сроков формирования и состояния выработанного пространства [3, 6].

Указанная трансформация содержания понятия комплексного освоения недр полностью отражает основные особенности современной парадигмы формирования минерально-сырьевой составляющей техносферы, которая характеризуется:

- экстенсивной формой развития минерально-сырьевого комплекса в целом, когда темпы увеличения объёма извлекаемого из литосферы вещества более чем на порядок опережают темпы прироста населения планеты;
- решением проблем защиты и восстановления естественной биоты Земли по остаточному принципу — после получения конечного продукта, что заметно ускоряет развитие глобального экологического кризиса.

Вполне очевидно, что ускоренное потребление минеральных ресурсов, то есть накопленных в ходе эволюции планеты запасов вещества и энергии, связано с целым рядом трудноразрешимых противоречий. При ярко выраженной антагонистической форме конфликта между природой и человеком совместное их существование возможно только при условии реализации принципа равных возможностей для развития техно- и биосферы. Этот принцип определён академиком Н.Н. Моисеевым как “стратегия коэволюции” антагонистических по своему внутреннему содержанию систем [7]. В рамках этой стратегии невозможно полностью преодолеть обозначенное выше глобальное противоречие, но придать ему неразрушительную для живой природы форму вполне возможно, более того — совершенно необходимо.

Именно необходимость создания новых, более широких возможностей развития минерально-сырьевого комплекса предопределяет внутреннее содержание современного (четвёртого) этапа трансформации понятия комплексного освоения недр за счёт включения в него *экологического ресурса литосферы*, сохранения её экологической функции.

Ускорение технического прогресса в сочетании с глобализацией усиливает взаимозависимость общества и технологий. В настоящее время



используемые при освоении минеральных ресурсов литосферы технологии построены в соответствии с узкоспециальными знаниями и выбираются только по технико-экономическим признакам. На основе такого подхода удаётся решать отдельные экологические задачи исключительно путём выполнения дополнительных природоохранных операций, но он не позволяет урегулировать комплекс проблем, связанных с сохранением биологического разнообразия и особенностями строения защищаемых природных объектов. Поэтому в методологическом плане требования по экологической безопасности должны предъявляться не к отдельным операциям или процессам — их следует заложить в перспективную общетехнологическую парадигму таким образом, чтобы сохранение естественной биоты Земли стало неотъемлемым свойством создаваемых и применяемых технологий.

В самом общем виде идея построения таких технологий была высказана ещё академиком В.И. Вернадским. Именно он сформулировал ноосферную задачу по встраиванию технологических процессов в циклы естественного оборота вещества в биосфере и их неразрушающему взаимодействию [8]. Вполне очевидно, что решение этой общей задачи возможно только путём создания и применения технологий с новыми свойствами. В методологическом плане технологические ответы на экологические вызовы следует искать в изучении систем, где эти ответы уже получены, то есть в биологических системах.

Развитие техносферы как основы современной цивилизации определяется простой функциональной триадой знание—умение—результат (или наука—технология—продукт). Качественная характеристика элементов этой триады становится понятной при её рассмотрении в обратном порядке: необходимые для нас свойства продукта предопределяют внутреннее содержание технологии, а оно в свою очередь указывает на то, какую именно часть общего знания мы должны использовать при создании данной технологии. Поэтому часто применяемое сегодня словосочетание “природоподобные технологии” надо трактовать не как создание каких-то необычных технологий, а как определение вектора приложения поисковых усилий и как указание на то, что новые пути целенаправленного преобразования технологий мы намерены найти на основе знаний о живой природе.

Известно, что в самом общем виде технология представляет собой практическое применение знания для создания методов производственной деятельности. Тогда *природоподобными следует считать технологии, создание и развитие которых происходит на основе знаний о живой природе*. Исходя из внутреннего содержания технологий можно выделить два подхода к их поиску: разра-

ботка природоподобных решений для технологий, имеющих аналоги в живой природе и не имеющих таких аналогов.

В первом случае инновационное развитие определённой группы технологий основано на дублировании уже существующих в живой природе процессов. Это направление имеет достаточно длинную историю, которая, видимо, начинается с бионики. Здесь имеются и серьёзные результаты, и огромные перспективы, которые будут постоянно расширяться по мере углубления наших знаний о материальном мире. Такие технологии можно назвать *природовоспроизводящими*, построенными на основе дублирования процессов, обеспечивающих существование организмов в составе биоты природных экосистем.

Признавая очевидную широту возможностей развития и реализации этого подхода, следует указать и на столь же очевидную их ограниченность. Как было показано в работах [1, 9], человек, обретая в ходе эволюции разум, продолжил своё дальнейшее развитие вне естественного баланса солнечной энергии. Поэтому фундаментом созданной на этом пути технократической цивилизации стали процессы и технологии, у которых нет и не может быть прямых аналогов в биологических системах. Действительно, в живой природе нет аналогов добыче полезных ископаемых, пирометаллургии, обработке металлов или колёсному транспорту и т.п. В эту группу попадают практически все технологии, благодаря которым создаётся искусственная среда обитания человека на территориях, которые ранее занимала естественная биота Земли. Поэтому здесь целью поиска становится не какая-то отдельная технология, а форма экологически уравновешенного (коэволюционного) взаимодействия антагонистических компонентов в ходе развития единой природно-технической системы. Так как эволюция любой системы — процесс имманентный, непосредственно ей присущий, то очевидно, что в природно-технической системе источником преобразования технической составляющей может быть только природная составляющая, а развитие системы в целом предстаёт как воспроизводство найденных природой эффективных функциональных структур при использовании уже имеющихся технологий. Отсюда следует, что необходимые качества производственных систем должны обеспечиваться за счёт сближения (конвергенции) их функциональной структуры с функциональной структурой биологических систем, которые уже обладают искомыми качествами. В такой постановке вопроса можно определить второй тип природоподобных технологий — *конвергентные*, в рамках которых антропогенные процессы взаимодействуют в биоподобной функциональной структуре.

Идея о принципиальной возможности создания конвергентных технологий для разработки месторождений полезных ископаемых была впервые выдвинута в ИПКОНе РАН в ходе проведения цикла поисковых исследований в области перспективного развития технологической базы комплексного освоения недр [10]. Изучение вопроса о несоответствии масштабов времени в процессах возобновления и потребления природных ресурсов (а это одна из основных причин опережающего роста экологических последствий развития минерально-сырьевого комплекса) привело к гипотезе о том, что *уровень экологической безопасности техногенных геосистем по отношению к системам биологическим пропорционален степени единообразия принципов функционирования обеих систем* [10]. Детальная разработка этой гипотезы показала, что именно с этим научным направлением в геотехнологии можно и нужно связывать основные ожидания по кардинальному снижению вклада минерально-сырьевого комплекса в глобальный экологический кризис, порождённый явным несоответствием темпов роста добычи вещества литосферы потенциалу демултации естественной биоты Земли.

В результате комплекса аналитических, теоретических и экспериментальных исследований, поддержанных РФФИ, были выделены принципы функционирования биологических систем, определяющие движение в них вещества и энергии, одновременное действие которых обеспечивает полную экологическую чистоту каждой системы по отношению к другим.

Учитывая антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой, методические подходы к решению вопроса о возможности конвергенции биологических и технических знаний исходят из основных положений гомеостатики *о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путём управления противоречиями*. Сильно упрощая, гомеостатические механизмы можно представить как результат интеграции (“склеивания”) по определённым правилам двух антагонистов. Такая система оказывается устойчивой, несмотря на то, что каждый антагонист в ней может являться неустойчивым образованием [11].

Применение методов гомеостатической трансформации позволяет перейти от анализа принципов функционирования равновесных биологических систем к синтезу функциональной структуры горных технологий, экологические последствия использования которых будут сбалансированы с локальной устойчивостью естественной биоты, воспринимающей техногенную нагрузку. Таким образом можно перенести биологическую информацию в техносферу: геотехнологический гомеостат поэтапно формиру-

ется на основе структуры гомеостата биологического с заменой содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги. Применительно к проблеме комплексного освоения недр это означает, что антагонистические по своему внутреннему содержанию компоненты действующих природно-технических систем не противопоставляются друг другу, а объединяются в составе конвергентной технологии комплексного освоения месторождения. В этом случае управляемая гармония между несовместимыми компонентами достигается за счёт подобия их функциональных структур и ограничения уровня техногенных воздействий диапазоном толерантности видов-эдификаторов биоты природных экосистем (рис. 1).

Система расположения биотехнологических принципов формирования конвергентных горных технологий, показанная на рисунке 1, отражает иерархию их функциональной дифференциации по характеру участия в экологически сбалансированном процессе разработки месторождения. Первые два размещённые по вертикали принципа формируют новый облик горной технологии добычных работ, которая возникает благодаря гомеостатической трансформации в техносферу принципов функционирования биологических систем, определяющих изменение состояния вещества в них.

Третий биотехнологический принцип отражает необходимость новой организации функциональной структуры горнотехнической системы разработки месторождения в соответствии с обращением вещества в биологических системах.

Два других принципа (4 и 5 — внешняя сторона схемы) определяют характер и условия взаимодействия компонентов всей природно-технической системы освоения ресурсов участка недр, которое обеспечивает сохранение устойчивости природной составляющей, а также экологически приемлемое энергоснабжение технической составляющей. Одновременная реализация всех биогенных принципов позволит структурировать во времени и пространстве процесс получения полезных ископаемых в полном соответствии с ограничениями экологического императива и устойчивого развития.

Минеральные ресурсы литосферы, по сути своей, представляют собой множество обнаруженных и идентифицированных месторождений полезных ископаемых. Использование сформулированных выше принципов открывает перспективу создания новой парадигмы технологического развития минерально-сырьевого комплекса, направленной на кардинальные решения в области сохранения естественной биоты Земли, и определяет исполнительную структуру основ-

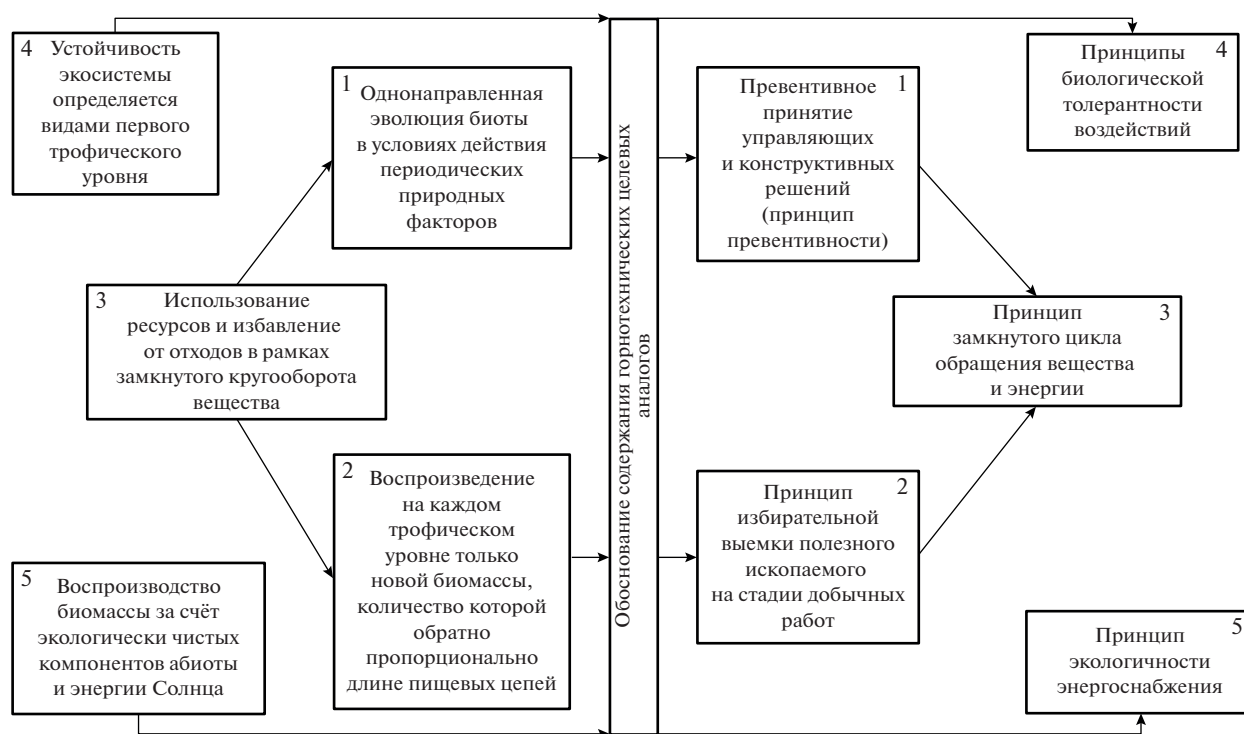


Рис. 1. Биотехнологические принципы формирования конвергентной горной технологии освоения месторождения

ного объекта технологических исследований — природно-технической системы освоения запасов полезных ископаемых, локализованных в литосфере Земли.

Для идентификации понятия “природно-техническая система освоения запасов литосферы” необходимо определить динамику и особенности внутреннего развития природной и технической подсистем, а также рассмотреть характер их взаимодействия с тем, чтобы при освоении конкретного участка литосферы были бы обеспечены условия “оптимального функционирования природно-технической системы” на основе “экологически безопасного размещения элементов техносферы” [12].

Природная составляющая в данном случае формируется не по принципу накопления и констатации данных о масштабах и интенсивности техногенного нарушения основных геосфер Земли в процессе извлечения полезного ископаемого — она должна представлять собой систему действий и ограничений по оценке и преодолению биологических последствий этих нарушений в различных масштабах времени, то есть может быть рассмотрена как полиобъектный кластер. Исходя из известного определения понятия производственного кластера как “механизма концентрации усилий” [13], можно утверждать, что основные элементы природно-технической системы освоения запасов месторождения — это два полиобъект-

ных кластера, которые концентрируют усилия в разных направлениях. Производственно-технический кластер имеет своей целью эффективную и безопасную добычу полезного ископаемого, а природоохранный формируется как система действий и ограничений по предотвращению необратимых экологических последствий неизбежного локального разрушения литосферы. Каждый из этих кластеров состоит из нескольких монокластеров низшего порядка, которые, в свою очередь, формируются из функциональных систем различного назначения (рис. 2).

Взаимодействие указанных составляющих, как и в каждой сложной системе, определяется тем, что одна из них управляющая, а другая — исполнительная [14]. Исполнительная, в нашем случае — техническая составляющая, реализует основную функцию системы — добычу полезного ископаемого, а управляющая — регулирует её проведение с учётом изменяющихся условий среды и требований сохранения естественной биоты Земли. Отсюда с очевидностью следует, что функциональная эффективность технической составляющей в общей системе всегда будет определяться характером взаимодействия природного и технического кластеров по критериям экологической безопасности и эффективности применяемых технологий.

В целом модернизация технологической парадигмы развития минерально-сырьевого комплек-

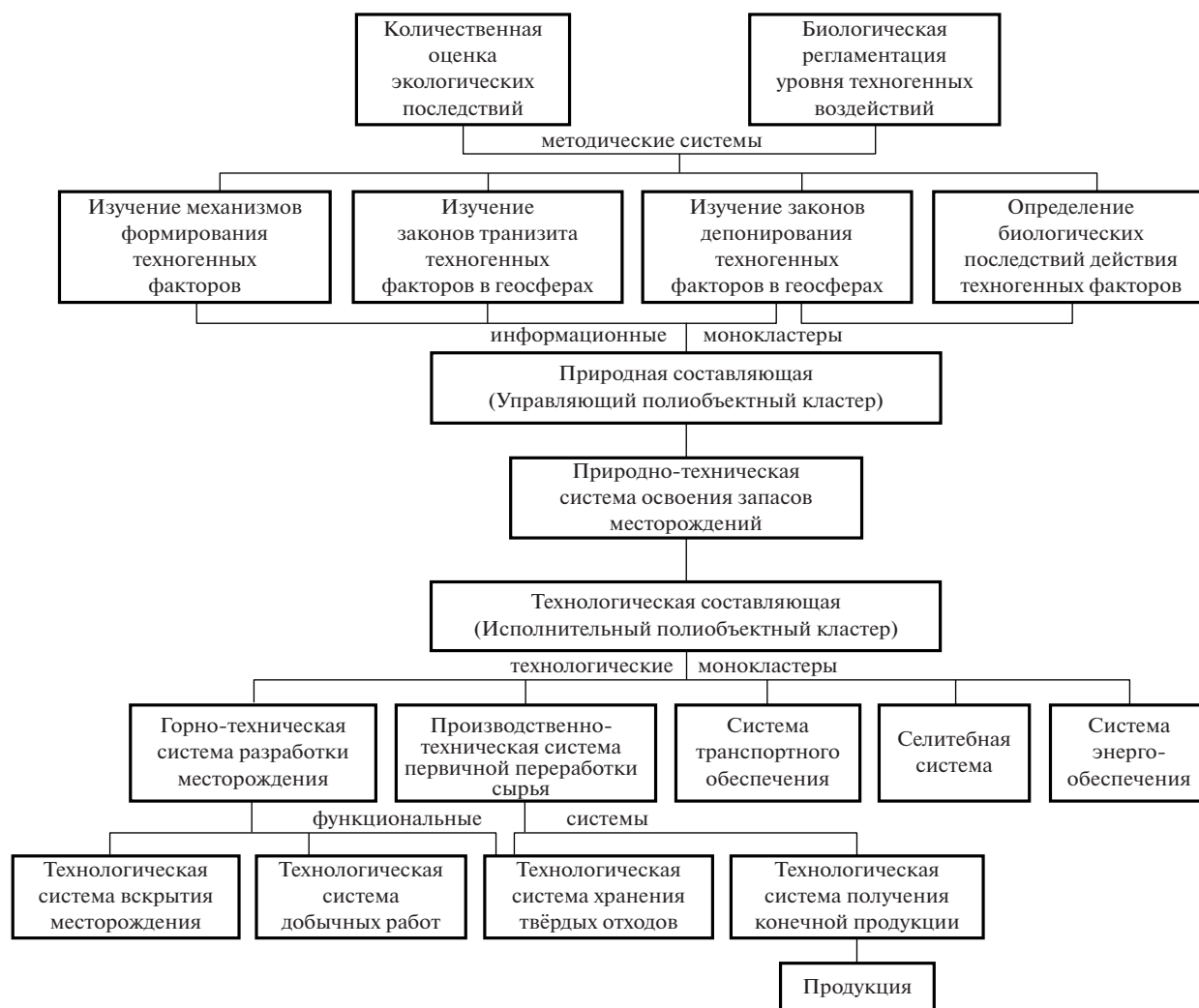


Рис. 2. Схема функциональной структуры конвергентной технологии комплексного освоения месторождения

са в направлении постепенного перехода к конвергентным технологиям позволит разрешить в этой сфере деятельности глобальное антагонистическое противоречие между техно- и биосферой путём его трансформации в цепь локальных противоречий между конкретным добывающим предприятием и реальной экосистемой. Каждое локальное противоречие преодолевается за счёт целенаправленного создания и применения технологических решений, уровень экологического воздействия которых не выходит за рамки диапазона толерантности видов-эдификаторов фитоценоза нарушаемых экосистем.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 99-05-65475; 00-05-64112; 02-05-64562; 05-05-64821; 08-05-00889; 12-05-00011; 15-05-07017; 18-05-70019.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр и экогеотехнология разработки месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2015.
2. Гуриева Л.К. Концепция технологических циклов // Инновации. 2004. № 10. С. 70–75.
3. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / Под ред. К.Н. Трубецкого. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997.
4. Мельников Н.В. Проблемы комплексного использования минерального сырья // Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов. М.: Наука, 1978. С. 5–15.
5. Агошков Н.В. Развитие идей и практики комплексного освоения недр. М.: ИПКОН АН СССР, 1982.
6. Трубецкой К.Н. Развитие новых направлений в комплексном освоении недр. М.: ИПКОН АН СССР, 1990.
7. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990.

8. *Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. М.: Айрис-пресс, 2007.
9. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.* Природоподобные горные технологии — перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы // Вестник РАН. 2017. № 7. С. 643–650.
10. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Буцев Л.И.* Стратегия совместного развития природы и общества // Вестник РАН. 1998. № 11. С. 995–998.
11. *Горский Ю.М., Степанов А.М., Тесминов А.Г.* Гомеостатика: гармония в игре противоречий. Иркутск: РепроцентрА1, 2008.
12. *Осипов В.И.* Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты // Геоэкология, инженерная экология, гидрогеология, геокриология. 1997. № 1. С. 3–11.
13. *Громыко Ю.В.* Век МЕТА: Современные деятельностные представления в социальной практике и общественном развитии. М.: Наука, 2006.
14. *Лисецкий С.В.* Сложные системы // Программные продукты и системы. 2005. № 3. С. 10–15.

## ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

© 2020 г. В. И. Осипов<sup>a,\*</sup>, Ю. А. Мамаев<sup>a,\*\*</sup>, И. В. Козлякова<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия

\*E-mail: osipov@geoenv.ru

\*\*E-mail: mamaev47ya@mail.ru

\*\*\*E-mail: kozlyakova@rambler.ru

Поступила в редакцию 18.09.2019 г.

После доработки 01.11.2019 г.

Принята к публикации 03.12.2019 г.

В статье рассматриваются научные основы территориального планирования размещения твёрдых коммунальных отходов (ТКО), интенсивно накапливающихся в нашей стране. Отмечается, что хаотичное, не контролируемое их размещение приводит к загрязнению атмосферного воздуха, почв, горных пород, подземных вод — важнейших жизнеобеспечивающих ресурсов биосферы, что вызывает снижение качества жизни людей. Научно обоснованное решение этой проблемы базируется на инженерно-геологическом районировании территорий по геологическим условиям, позволяющем находить “геологические ловушки”, надёжно изолирующие отходы от окружающей среды. С учётом методики такого районирования приводятся примеры его применения при размещении отходов в геологических массивах различной степени пригодности.

**Ключевые слова:** твёрдые коммунальные отходы, инженерно-геологическое районирование территорий по геологическим условиям размещения ТКО, выбор участков размещения ТКО.

DOI: 10.31857/S0869587320040106

Экологически безопасное обращение с отходами относится к одной из важнейших проблем в нашей стране. Острота её объясняется тем, что в России быстрыми темпами идёт наращивание объёмов отходов производства и потребления, негативно воздействующих на окружающую среду, экологическую безопасность и здоровье населения. В настоящее время на полигонах и свалках ежегодно накапливается около 67 млн т ТКО [1],

при этом на каждого гражданина Российской Федерации — приходится более 400 кг. Доля Москвы составляет около 5.5 млн т ТКО, а вместе с Московской областью — 11 млн т [1].

По данным Росприроднадзора, в России насчитывается 1399 полигонов, более 7000 санкционированных и около 17500 несанкционированных свалок ТКО. Общая площадь полигонов и свалок составляет более 150 тыс. га, площадь на-



ОСИПОВ Виктор Иванович — академик РАН, научный руководитель ИГЭ РАН. МАМАЕВ Юрий Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ИГЭ РАН. КОЗЛЯКОВА Ирина Владимировна — кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией экзогенной геодинамики и анализа геологических рисков ИГЭ РАН.



рушенных земель — свыше 1 млн га. Объём образующихся отходов существенно превышает объём перерабатываемых, что приводит к продолжающемуся росту общей площади полигонов и свалок: ежегодно она увеличивается по разным оценкам на 1000–5000 га. Большинство свалок расположено вблизи населённых пунктов (58%), водоохранных зон (16%), на землях сельскохозяйственного назначения (15%) и лесного фонда (8%).

Объекты складирования ТКО размещаются повсеместно без какого-либо научного обоснования, практически в силу хозяйственной необходимости. Их накопление идёт на открытых площадках, не защищённых от выпадающих осадков и других внешних воздействий. Часто для этого используются заброшенные песчаные карьеры и овраги, находящиеся недалеко от мест образования отходов, и никого не беспокоит тот факт, что песчаная толща — самая неблагоприятная среда для помещения ТКО из-за её высокой проницаемости.

Подобную практику необходимо прекратить, перейдя к научно обоснованному размещению отходов. Общепризнанная концептуальная основа безопасного их захоронения в геологической среде — создание многобарьерной изоляции. Суть её в применении как природных (геологических), так и инженерных (искусственных) барьеров. Первые из них, называемые также геологическими ловушками, изолируют отходы от биосферы на многие десятки лет до полного их разложения. От эффективности использования таких ловушек зависят необходимость и масштаб применения инженерных барьеров, что существенно влияет на стоимость сооружения безопасных полигонов ТКО.

Цель проводимых нами исследований — разработка теоретических основ районирования территорий субъектов Российской Федерации по степени пригодности и безопасности размещения объектов ТКО на основе всестороннего изучения природных условий, их экспертной оценки и отражения на картах районирования, а также разработка требований по охране окружающей среды. Наличие карт позволяет научно обоснованно принимать управленческие решения при планировании рационального использования территорий.

Поиск геологических массивов для безопасного размещения ТКО — ответственная научная задача, при решении которой должен учитываться комплекс факторов, влияющих на соблюдение экологических, социальных и экономических требований. Важнейшая процедура выбора площадок размещения объектов ТКО — районирование, заключающееся в разделении изучаемой территории на участки по признакам пригодности

природных условий для размещения таких объектов [2, 3]. Районирование проводится на основе оценки изолирующих и других свойств геологической среды, создающих природные барьеры, что способствует снижению загрязнений территории, распространения вредных образований в атмосфере, ландшафтах, подземных водах, почвах и горных породах.

Районирование выполняется в два этапа. На первом рассматриваются геологические особенности территории, составляется соответствующая карта, на втором даётся сравнительная оценка, проводятся ранжирование и выделение участков по степени пригодности к размещению объектов ТКО.

**Районирование по геологическим условиям.** В ходе работ первого этапа изучаются возраст пород, их генезис, геодинамические условия образования, литологический состав и строение толщ, геоморфологические и гидрогеологические условия. Это позволяет выделять на изучаемой территории иерархию геологических тел (массивов), характеризующихся близостью геологической истории образования, строения, состояния и свойств [4]. По этим признакам определяются инженерно-геологические районы и участки обустройства территории. В основу выделения районов (мезомассивов) берутся геоморфологические и литолого-стратиграфические признаки. Инженерно-геологические участки (массивы) обособляются в границах инженерно-геологических районов с учётом состава, строения и свойств грунтовых толщ, их обводнённости и развития опасных экзогенных процессов. При этом вся система ранжирования массивов различного ранга основывается на принципе “матрёшки”: территориальные единицы высокого ранга включают в себя серию мелких территориальных единиц низкого ранга.

**Оценка инженерно-геологических массивов.** На втором этапе исследований проводится сравнительная оценка выделенных инженерно-геологических массивов по степени их пригодности для размещения объектов ТКО с учётом экологических и социально-экономических требований. За основу такого районирования берётся анализ трёх основных факторов: литологический состав пород и их свойства, гидрогеологические условия, развитие опасных природных процессов. Анализ первого фактора позволяет оценить изолирующие свойства пород и их способность выполнять роль природных геологических барьеров, препятствующих распространению загрязнений от свалок. На основе второго фактора — гидрогеологических условий — оценивается объективная возможность контакта предполагаемого проектируемого объекта ТКО с подземными водами. Третий фактор отражает вероятность нару-

**Таблица 1.** Шкала баллов по оценке изолирующих свойств различных литологических типов пород

Критерии/Типы пород	Фильтрационная способность, Кф, м/сут	Баллы	Удерживающая способность, мг/кг	Баллы
Глины и тяжёлые суглинки	$<5 \times 10^{-5}$	50	$>1000$	20
Лёгкие и средние суглинки	$5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-3}$	20	500–1000	10
Супеси	$5 \times 10^{-3} - 0.5$	10	100–500	2
Пески и гравий	$>0.5$	0	$<100$	0

шения экологической безопасности объектов ТКО в результате развития опасных природных процессов, таких как затопление, подтопление, линейная эрозия и абразия, суффозия, развитие карста, оползней и др.

Оценка вклада указанных факторов в итоговый показатель пригодности инженерно-геологических массивов для размещения объектов ТКО производится по балльной шкале, разрабатываемой на основе экспертных оценок составителей карты. Для каждого фактора выстраивается отдельная шкала баллов, позволяющая учитывать его значимость при расчёте критерия оценки (пример таких оценок приводится ниже).

*Литологический состав пород и их свойства.* Изолирующие свойства вмещающей толщи пород – решающий фактор обеспечения безопасности объекта хранения/захоронения ТКО. Он предполагает формирование геологического барьера, препятствующего распространению загрязнения. Если защитные свойства геологической среды оценить по интегральной 100-балльной шкале, то предельный вклад состава пород в эту способность может достигать 70 баллов. Основными критериями изолирующих свойств пород являются коэффициент фильтрации ( $K_f$ , м/сут) и удерживающая (поглощающая) способность (мг/г), причём в зависимости от литологического состава они могут существенно меняться. Так, у глин и тяжёлых суглинков фильтрационная способность ниже, а удерживающая способность выше, чем у лёгких и средних суглинков. За лёгкими и средними суглинками следуют супеси, а замыкают перечень пород по их изолирующим свойствам пески и гравий. Соответственно, фильтрационная способность глин и тяжёлых суглинков оценивается в 50 баллов, песков и гравия – 0 баллов (табл. 1).

Основным переносчиком загрязнений считается вода, фильтрующаяся через тело свалки. Поэтому с повышением коэффициента фильтрации защитные свойства вмещающей толщи резко снижаются. Наилучшими защитными характеристиками обладают глинистые породы, поровое пространство которых представлено тонкими порами (от долей миллиметра до микронных вели-

чин), часто закрытыми и недоступными для фильтрации воды. Кроме того, на поверхности глинистых минералов формируются гидратные плёнки адсорбированной воды, обладающие повышенной вязкостью и также препятствующие фильтрации [5]. Пески и тем более гравий свободно пропускают фильтруемый поток и практически не создают никакого защитного барьера.

С фильтратом во вмещающие породы поступают различные загрязнители, в том числе токсичные вещества, которые, взаимодействуя с минеральными частицами, удерживаются в породе. Общее содержание загрязнителей, накапливающихся в породах, характеризуется показателем массовой концентрации загрязнителей (мг/кг) [6]:

$$C_z = M_z / M_{\text{тв}},$$

где  $M_z$  – масса накопленных загрязнителей всех видов,  $M_{\text{тв}}$  – масса минеральной части пород. Физическая природа механизма удержания загрязнителей может быть различной: механической, физико-химической (адсорбционной), химической. При этом загрязнители могут находиться в виде привнесённых или вновь образующихся (в результате раскристаллизации) твёрдых включений, застревающих в порах или формирующих цемент на контактах частиц, скоплений ионов или химических образований, адсорбирующихся на активных поверхностях минералов, гелеобразных органо-минеральных комплексов и жидких образований в виде эмульсий.

Удерживающая способность геологической толщи так же, как фильтрационная, зависит от состава пород: наибольшая она у глин и тяжёлых суглинков, наименьшая – у песков и гравия. В зависимости от этого максимальная величина показателя массовой концентрации загрязнителей снижается при переходе от глин к пескам, что позволяет оценивать удерживающую способность различных типов пород от 20 до 0 (см. табл. 1).

Интегральная оценка изолирующей способности изучаемого массива (фильтрационной и удерживающей) осуществляется на основе сложения полученных баллов для каждого литологического типа пород, умноженных на его относи-

**Таблица 2.** Шкала баллов для оценки гидрогеологических условий участков размещения ТКО

Глубина залегания уровня грунтовых вод	Баллы
Отсутствие грунтовых вод в зоне влияния объекта	30
УГВ в зоне влияния объекта, но ниже основного геологического барьера	15
УГВ выше основного геологического барьера	5
Участок подтоплен (УГВ на глубине <2 м)	0

**Таблица 3.** Шкала баллов для оценки опасных природных процессов

Наименование процесса	Балльная оценка	Повторяемость (за 100 лет)	Баллы
Затопление	–100	0.10	–10
Подтопление	–20	0.20	–4
Эрозия	–10	0.10	–1
Склоновые процессы	–10	0.05	–0.5
Карст	–5	0.01	–0.05

тельную мощность в разрезе (в долях единицы). Рассмотренная выше шкала баллов составлена для массивов сыпучих и связанных пород мощностью 15–20 м.

*Гидрогеологические условия.* Гидрогеологические условия, наряду с составом пород, оказывают существенное влияние на условия размещения отходов, поскольку контакт жидкой фазы геологической среды с ТКО способствует быстрому распространению загрязнения в окружающей среде и снижению качества воды.

Для оценки влияния подземных вод на условия размещения объектов ТКО по балльной шкале важно определить максимальную величину показателя, отражающего роль гидрогеологических условий. По экспертной оценке, она может достигать 30 баллов. Эта величина варьируется в зависимости от наличия водоносного горизонта в среде, вмещающей объект ТКО, и взаимодействия с ним подземных вод. Важно, где находится уровень горизонта подземных вод (УГПВ): выше или ниже главного геологического барьера – толщи глинистых пород, являющейся основанием полигона. Исходя из этого, показатель гидрогеологических условий характеризуется четырьмя критериями, которым соответствует определённая балльная оценка (табл. 2).

Наиболее благоприятными следует считать условия, когда подземные воды отсутствуют в сфере влияния объекта ТКО (30 баллов), и менее благоприятными – когда УГПВ находится в зоне влияния объекта, но ниже толщи глинистых пород – главного геологического барьера (15 баллов). Гидрогеологические условия становятся неблагоприятными на участках, где УГПВ выше глинистой толщи, а подземные воды непосредственно контактируют с телом свалки (5 баллов). Массивы, полностью подтопленные подземными

водами (УГПВ на глубине не более 2 м) непригодны для размещения ТКО (0 баллов).

*Опасные природные процессы.* Третий фактор, влияющий на районирование территории по условиям размещения объектов ТКО, – опасные природные процессы. Для европейской части России ими могут быть затопление объекта в результате половодья, подтопление площадки при подъёме УГПВ, эрозия водными потоками, образование оползней, карстообразование и др. Развитие природных опасностей чревато разрушением объектов ТКО и экологическим бедствием, поэтому оценивается баллами с отрицательным значением, максимальная величина которого – 100. Наибольшая угроза возникает при затоплении в результате наводнений (–100 баллов), далее идут подтопление (–20), эрозия временными и постоянными водотоками (–10), склоновые процессы: оползни, осыпи (–10), карстообразование (–5).

Величина этого показателя зависит и от повторяемости опасного явления за весь период существования объекта до полного разложения свалочного тела (100 лет), выраженной в долях единицы. Каждый процесс оценивается как произведение его опасности (баллы) и повторяемости (доли единицы). В том случае, когда на площадке возможно развитие нескольких опасных процессов определяется интегральная величина баллов всех процессов (табл. 3).

По итогам анализа трёх факторов – литологического состава пород и их свойств, гидрогеологических условий, развития опасных природных процессов – вычисляется сумма набранных баллов. Этот численный показатель служит основным критерием подразделения массивов пород по условиям размещения объектов ТКО.

**Районирование по условиям размещения ТКО.** Суммарная величина баллов берётся за основу подразделения территории по условиям размещения отходов. Для этого все инженерно-геологические массивы ранжируются по баллам на 4 типа: участки благоприятные, условно благоприятные, условно неблагоприятные и неблагоприятные. Каждому из них соответствует диапазон баллов, характеризующий степень пригодности (табл. 4). Однотипные территории выделяются на карте одинаковым цветом, а сама она приобретает статус оценочной, позволяющей проводить районирование на количественной основе.

Детальность получаемой карты зависит от её масштаба. Карты, предназначенные для проектирования конкретных объектов в пределах относительно небольших по площади территорий (отдельных административных районов или муниципальных образований), составляются в масштабах 1:25 000 – 1:10000. Крупномасштабные карты относятся к числу важнейших документов при планировании размещения ТКО, позволяя принять решения по следующим вопросам:

- научное обоснование выбора участков размещения отходов с учётом природных условий, социально-экологической безопасности и экономической целесообразности;
- инвентаризация мест размещения существующих и ранее сформированных полигонов и свалок с целью их закрытия, перезахоронения и реабилитации;
- принятие предварительных решений по конструкции будущих объектов обращения с ТКО, объёму и содержанию работ, связанных с их инженерной подготовкой и защитой;
- выявление логистических проблем, включающих доступность объекта, его оптимальное размещение относительно мест накопления ТКО и расположения перерабатывающих предприятий.

**Характеристика территорий, различающихся условиями размещения отходов.** Выбор участка для размещения ТКО требует максимально ответственного подхода, так как с этим связана экологическая безопасность создаваемого объекта и стоимость его строительства. Применение карты инженерно-геологического районирования во многом способствует оптимальному решению острых вопросов.

Участки, расположенные на благоприятных территориях, характеризуются хорошими природными изолирующими свойствами: наличием в основании и кровле сооружения слабопроницаемых глинистых толщ, отсутствием контакта с подземными водами, а также геодинамических явлений и опасных природных процессов. На таких участках возможно строительство объектов

**Таблица 4.** Шкала баллов для деления территории по степени пригодности для размещения ТКО

Степень пригодности	Величина баллов	Цвет на карте
Пригодные	>80	Зелёный
Условно пригодные	40–80	Жёлтый
Условно непригодные	10–40	Оранжевый
Непригодные	<10	Красный

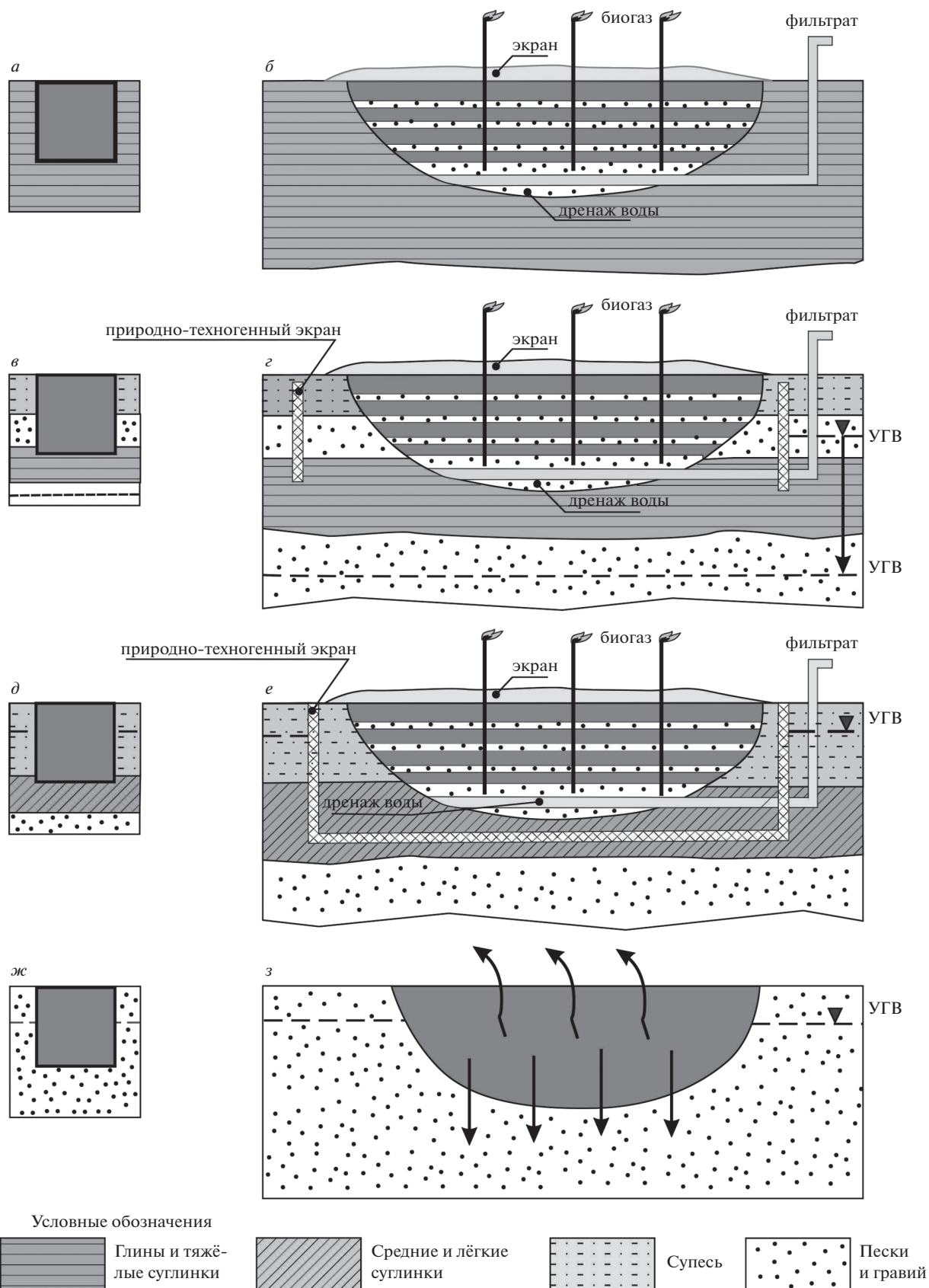
ТКО с минимальными финансовыми затратами, с соблюдением требований экологической безопасности и социальных условий проживания людей. Пример такого участка показан на рисунке 1 а, б. Участок полностью сложен глинистой толщей, являющейся хорошим геологическим барьером, предотвращающим загрязнение атмосферы и подземных вод. Объёмы работ по инженерной защите тела свалки минимальны и заключаются в создании в теле свалки и её основании дренажной системы для сбора биогаза и загрязнённых вод, перекрытии свалки с поверхности после накопления непроницаемым для воды и газов экраном, а также организации мониторинга.

Дренажная система для сбора биогаза создаётся в теле свалки по мере её формирования — засыпаемый мусор периодически разравнивается и перекрывается слоем крупнозернистого песка или гравия мощностью до 0.5 м. По мере накопления мусора в теле свалки оборудуется сеть вертикальных дренажей (они пересекают горизонтальные дренажные слои), через которые биогаз подаётся наверх и утилизируется.

Поверхностный защитный экран может представлять собой техногенный геологический барьер, формируемый из отсыпаемого и уплотнённого слоя влажной глины мощностью 1.5–3 м. Наряду с этим можно использовать комбинированный барьер, состоящий из искусственного водонепроницаемого покрытия в виде различных плёнок и матов и техногенного геологического барьера (отсыпанный слой влажной глины мощностью до 1.5 м).

Даже при соблюдении всех правил безопасности комплексы ТКО остаются объектами повышенного риска, требующими постоянного контроля за их состоянием. Мониторинг полигонов — комплексное мероприятие, включающее атмосферные, гидрогеологические, геотехнические и санитарно-гигиенические наблюдения, производимые как внутри полигона, так и за его пределами. Получаемая информация должна быстро обрабатываться и анализироваться в режиме онлайн.

Площадки, размещаемые на условно пригодных территориях, приурочены к массивам полу-



**Рис 1.** Размещение свалок ТКО на участках различной степени пригодности по геологическим условиям. Категории участков: а, б – благоприятные; в, г – условно благоприятные; д, е – условно неблагоприятные; ж, з – неблагоприятные

проницаемых и непроницаемых пород, но имеющим в основании толщу глин или тяжёлых суглинков, которая может служить надёжным геологическим барьером. Важно, что на такой площадке подземные воды, залегающие в пределах зоны влияния свалки, находятся ниже основания свалки. Это не исключает, однако, что даже при незначительном поднятии УГПВ может возникнуть контакт свалки с подземными водами (рис. 1 в, г). Чтобы его предотвратить, необходимо возводить по периметру природно-техногенный барьер с применением методов технической мелиорации грунтов и опирающийся на непроницаемый глинистый слой в основании свалки [7, 8]. Кроме того, необходимы системы дренирования биогаза и загрязнённого фильтрата воды.

Территории, оценённые баллами от 10 до 40, составляют условно непригодную категорию участков, приуроченных к местам распространения проницаемых обводнённых пород (супесей, песков). В основании таких участков залегают полупроницаемые толщи лёгких или средних суглинков (рис. 1 д, е). В подобных случаях создание слабопроницаемого техногенного барьера на поверхности и по периметру свалки требует значительных финансовых средств, поэтому условно непригодные территории используются для создания полигонов размещения ТКО только в исключительных случаях.

Территории четвёртого уровня включают участки, непригодные для размещения отходов. К ним относятся обводнённые и затапливаемые паводковыми водами территории, сложенные толщей легко водопроницаемых пород (крупнообломочных, трещиноватых, песчаных), в геологическом разрезе которых отсутствуют подстилающие и перекрывающие непроницаемые или полупроницаемые горизонты, а также участки, располагающиеся в зоне месторождений подземных вод или над гидрогеологическими окнами. К ним же относятся территории интенсивного развития карстовых, суффозионных, оползневых и других опасных процессов (рис. 1 ж, з). Инженерная подготовка таких участков сопряжена с огромными финансовыми затратами на создание искусственных и природно-техногенных барьеров в основании и в контуре сооружений, систем дренажа биогаза, загрязнённых подземных вод и мониторинга. По этим причинам размещение объектов ТКО на этих участках должно быть категорически запрещено.

Рассмотренные примеры описывают лишь малую часть ситуаций, возникающих при создании полигонов на участках с различным уровнем пригодности по геологическим условиям. Но необходимо подчеркнуть: как бы ни были различны эти ситуации, очень важно сохранение единого принципа оценки природных условий при подго-

товке карты инженерно-геологического районирования — она является важнейшим документом для разработки территориальной схемы обращения с отходами. При составлении такой схемы на карту, как на матрицу, наносится дополнительная информация, отражающая законодательные ограничения по размещению отходов и существующую ситуацию с их накоплением и размещением. С применением специальных знаков или штриховок указываются территории, запрещённые для размещения отходов: населённые пункты и санитарные зоны вокруг них, особо охраняемые исторические места, особо охраняемые водные и рекреационные территории, кладбища и скотомогильники.

Помимо карты инженерно-геологического районирования, территориальная схема обращения с отходами предполагает присутствие топографически привязанной дополнительной информации:

- мест накопления ТКО и их состав, включая размещение санкционированных и несанкционированных полигонов и свалок, а также захоронения неотсортированных отходов;
- мест размещения действующих объектов по промышленной сортировке, переработке и обезвреживанию отходов;
- мест организации раздельного сбора отходов;
- существующей дорожной сети с указанием категории дорог.

Вся указанная информация систематизируется на базе геоинформационной системы изучаемой территории и оцифровывается. В дальнейшем разрабатываются специальные программные средства, позволяющие решать в реальном режиме времени все необходимые задачи по управлению отходами, включая поиск оптимальных площадок по их размещению, доставку на перерабатывающие комплексы, разработку коммерческих схем взаимосвязи между предприятиями сортировки, переработки, обезвреживания и захоронения не утилизируемой части ТКО. Полученный таким образом комплекс информации станет базой реальной цифровой системы по территориальному управлению отходами.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания и плана НИР ИГЭ РАН на 2019–2021 гг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад “О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2017



- году". М.: Министерство природных ресурсов и экологии, 2018.
2. *Осипов В.И.* Управление твёрдыми коммунальными отходами как федеральный экологический проект // *Геоэкология*. 2019. № 3. С. 3–11.
  3. *Козлякова И.В., Кожевникова И.А., Анисимова Н.Г., Иванов П.В.* Инженерно-геологическое районирование Центрального федерального округа России по условиям размещения предприятий и полигонов утилизации твёрдых бытовых отходов // *Сергеевские чтения*. Вып. 20: Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). М.: РУДН, 2018.
  4. *Osipov V.I., Burova V.N., Zaikanov V.G. et al.* A Map of Large-Scale (Detail) Engineering Geological Zoning of Moscow Territory // *Water Resources*. 2012. V. 39(7). P. 709–721.
  5. *Осипов В.И., Соколов В.Н.* Глины и их свойства. М.: ГЕОС, 2013.
  6. *Королёв В.А.* Очистка и восстановление геологической среды. Учебное пособие для вузов. М.: ООО "Сампринт", 2019.
  7. *Воронкевич С.Д.* Техническая мелиорация грунтов. М.: Академическая наука, 2015.
  8. *Гончарова Л.В.* Основы искусственного улучшения грунтов. М.: МГУ, 1973.

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ НА БИОТУ

© 2020 г. А. Н. Переволоцкий<sup>a,\*</sup>, Т. В. Переволоцкая<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

\*E-mail: [aleks\\_perevolotsky@mail.ru](mailto:aleks_perevolotsky@mail.ru)

\*\*E-mail: [forest\\_rad@mail.ru](mailto:forest_rad@mail.ru)

Поступила в редакцию 03.02.2020 г.

После доработки 20.02.2020 г.

Принята к публикации 25.03.2020 г.

В статье рассмотрены концептуальные положения, касающиеся оценки и прогнозирования радиационного воздействия на биоту. Выделены взаимосвязанные составляющие радиоэкологических оценок, учитывающие перераспределение радионуклидов в компонентах окружающей среды и связанные с ним уровни облучения живых организмов. Предложен авторский подход к решению проблемных вопросов в области разработки миграционных и дозиметрических моделей оценки воздействия радиоактивных выбросов на биоту.

**Ключевые слова:** радиоактивные выбросы, радионуклиды, плотность загрязнения, биогеоценозы, модели миграции, дозы облучения, референтные организмы.

DOI: 10.31857/S0869587320060109

Прошло уже более века с момента открытия радиоактивности и более 60 лет — с начала использования ядерных технологий человечеством. При всех их преимуществах обратной стороной медали оказывается поступление в окружающую среду ряда радиоактивных изотопов. Эти радионуклиды практически отсутствуют в природе,

имеют относительно небольшой период полураспада и определяют дополнительное, сверхфоновое облучение человека и биоты [1, 2]. Например, объёмная активность  $^{85}\text{Kг}$  в атмосфере в результате испытаний ядерного оружия и выбросов предприятий ядерного топливного цикла возросла на 6 математических порядков, достигнув единиц Бк/м<sup>3</sup>, в природной среде появились долгоживущие радиоизотопы плутония  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и других радионуклидов [3–5].



ПЕРЕВОЛОЦКИЙ Александр Николаевич — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории математического моделирования радиоэкологических процессов ВНИИРАЭ. ПЕРЕВОЛОЦКАЯ Татьяна Витальевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования радиоэкологических процессов ВНИИРАЭ.

Крупные радиационные аварии на НПО “Маяк” в 1957 г. [6], Чернобыльской АЭС в 1986 г. [7], Фукусиме-1 в 2011 г. [8] обусловили столь значительный уровень радиоактивного загрязнения на локальных участках, а также дозы ионизирующего излучения, что потребовалось применение специальных мер радиационной защиты населения. При достаточной проработанности этих мер [9] несколько в стороне оказалась биота. Это было связано с преобладавшей антропоцентричной парадигмой в защите окружающей среды от ионизирующего излучения: “защищён человек — защищена биота” [10]. Радиационные эффекты, наблюдаемые при крупных радиационных инцидентах [11, 12], потребовали перехода к “экологическому” подходу в обеспечении безопасности природной среды — с оценкой доз облучения

биоты и рисков её обитания в условиях радиоактивного загрязнения [10]. В ряде работ [13, 14] сформулированы требования к набору представительных (референтных) живых организмов, основные положения и допущения для прогнозирования доз их облучения. Однако существующие методические подходы охватывают только ситуацию квазиравновесного распределения радионуклидов в биогеоценозах и требуют для расчётов доз готовых исходных данных. Следует констатировать отсутствие комплексного подхода и соответствующего набора программных средств, которые позволили бы объединить все прогнозные расчёты в целом: от прогнозирования распространения радионуклидов выброса в атмосфере с последующей оценкой их содержания в основных компонентах биогеоценозов до расчёта динамики дозовых показателей облучения биоты с оценкой риска обитания.

Таким образом, в развитие существующих подходов представляется актуальной разработка основных положений и допущений радиоэкологической оценки состояния природной среды в условиях радиоактивного загрязнения с выделением основных её компонентов и описанием схемы связей между ними. Оценка должна базироваться на методах математического моделирования с учётом следующих составляющих:

- информационной, предполагающей количественное и качественное описание исследуемой территории, в частности, типичных биогеоценозов, растительного и животного мира;
- миграционной, содержащей модели осаждения радионуклидов из атмосферы, прогнозирования их активности в компонентах исследуемых биогеоценозов;
- дозиметрической, включающей модели формирования радиационной обстановки и облучения живых организмов;
- оценок радиационного воздействия на биоту с учётом спрогнозированных доз облучения в окружающей среде и непосредственно живых организмов.

**Информационная составляющая** — это обеспечение данными для прогнозных расчётов миграции радионуклидов в основных компонентах биогеоценозов и связанных с ними доз облучения живых организмов. Её основу должны составлять, во-первых, исходная информация по интенсивности выброса радионуклидов, скоростям их осаждения и вымывания из атмосферы, во-вторых, сведения о метеорологических условиях на территории, прилегающей к источнику выбросов. Наиболее точная оценка численных прогнозов метеорологических условий базируется на данных, поступающих в виде сеток различного пространственного разрешения из специализированных прогностических центров по Глобаль-

ной сети телесвязи Всемирной метеорологической организации. Такие данные предпочтительны для прогнозирования объёмной активности радионуклидов в атмосфере и плотности их осаждения на земную поверхность в реальном масштабе времени. Для менее точной оценки метеоусловий могут использоваться простые наборы данных — по оценённым на момент разового выброса категории устойчивости атмосферы и скорости ветра или по среднемноголетней частоте повторяемости категорий устойчивости атмосферы.

Важный компонент информационной составляющей — геоинформационная система, отражающая пространственные данные объекта (например, участков агробиогеоценозов, выдела лесных кварталов, болот по типам, земель населённых пунктов), а также атрибутивные данные, к которым могут быть отнесены основные характеристики почвенного покрова (тип и подтип почвы, агрохимические показатели и режим увлажнения), видовой состав и биомасса типичных представителей фауны. В атрибутивных данных целесообразно выделять положение реперных точек, находящихся в типичных для исследуемой территории биогеоценозах, предполагая репрезентативность расчётных данных (содержания радионуклидов выпадений в основных компонентах природной среды, связанные с ними дозовые показатели внешнего и внутреннего облучения живых организмов), полученных в этих точках, для моделируемого биогеоценоза в целом.

Не менее важный компонент — база знаний по закономерностям распределения радионуклидов в системе “поверхность надземной фитомассы — поверхностный слой почвы”, по переходу радионуклидов в системе “корнеобитаемый слой почвы — надземная фитомасса растений”, параметрам миграции радионуклидов в вертикальном профиле почвы и их перехода в типичных пищевых цепочках зооценоза в зависимости от почвенно-экологических условий, прежде всего от агрохимических показателей почвы и режима её увлажнения. Вполне очевидным представляется проведение специальных радиоэкологических исследований для уточнения параметров накопления и миграции радионуклидов в различных средах в специфических природно-климатических условиях территории распространения радиоактивного выброса.

**Миграционная составляющая** включает в себя модели распространения радиоактивных выпадений в атмосфере, осаждения радионуклидов на земную поверхность, их миграции в вертикальном профиле почвы, накопления растениями и животными. Полученные прогнозные данные позволят рассчитать дозы облучения биологических объектов.

Модель распространения радионуклидов в атмосфере должна дать информацию об их объёмной активности в воздухе (мгновенной, средней относительно времени выброса или интегральной) и плотности осаднения на земную поверхность в реперных точках. При этом наиболее точная оценка данных параметров в реальном масштабе времени может быть получена с применением моделей, основанных на описании атмосферной турбулентности с использованием лагранжева подхода (например, программные комплексы Recass NT, Нострадамус) [15, 16]. Приемлемую точность оценок среднесуточной объёмной активности и плотности осаднения радионуклидов при непрерывных радиоактивных выпадениях могут обеспечить модели, реализующие решение полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии [17]. Вместе с тем они не отражают распределение радиационных показателей в пространстве на момент выброса с характерными для него метеосостояниями. По этой причине исследуемые показатели могут быть несколько занижены по сравнению с прогнозными расчётами, выполняемыми на основе моделей, использующих лагранжев подход. В случаях разовых выбросов радиоактивных веществ модели, основанные на решении полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии, позволяют получить приемлемую оценку показателей активности только при условии постоянства метеорологических условий во время выброса.

Другой важный аспект прогнозирования содержания радионуклидов в атмосфере — расчёт концентраций радиоактивных изотопов инертных газов, поскольку такие радионуклиды не осаждаются на земную поверхность и могут вызвать только внешнее облучение биоты. Однако их активность в составе хронического выброса АЭС на 4 математических порядка выше по сравнению с таковым показателем для радиоизотопов йода и на 5 — по сравнению с аэрозольными выбросами [18, 19].

В модели распределения радионуклидов из состава выпадений в системе “поверхность наземной фитомассы растений — поверхностный слой почвы” в качестве исходных данных применяется величина плотности осаднения радионуклидов на земную поверхность [20]. При хронических радиоактивных выпадениях она должна работать для каждого вегетационного сезона во всех исследованных типах биогеоценозов, при аварийных — только для сезона, в котором произошли выпадения. При прогнозировании динамики активности радионуклидов в указанной системе следует учитывать изменение биометрических показателей растений в течение вегетационного сезона и соответствующие им изменения степени задерживания частиц выпадений самой фитомассой [20]. Вид моделируемого биогеоценоза (хвойные и лиственные леса, луга, агрофитоценозы с раз-

личными культурами) должен учитываться в параметрах и константах переноса между основными компонентами исследуемой системы. Так, в первые недели вегетационного периода биомасса луговых и сельскохозяйственных растений относительно мала и практически все радионуклиды поступают на поверхность почвы, однако с течением времени и по мере увеличения биомассы более половины выпавших на её поверхность радионуклидов способны ею задерживаться. В хвойных лесах задерживающая способность практически постоянна на протяжении года, а в лиственных — достигает максимума в летний период [11].

В поверхностном слое почвы активность радионуклидов, поступивших из атмосферы и непосредственно с поверхности растений на протяжении вегетационного периода, определяется их задерживанием в пределах тонкого ( $<0.5$  см) слоя [13]. При этом миграцией в глубь почвы в течение этого промежутка времени можно пренебречь (коэффициент диффузии составляет  $10^{-9}$ – $10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с для большинства радионуклидов), что связано с эффективной сорбцией их ультрамикрочастиц [21]. Отметим, что выходными данными модели должна быть динамика активности радионуклидов в наземной фитомассе растений и в поверхностном слое почвы в реперных точках типичных биогеоценозов.

Модель корневого поступления радионуклидов в систему “корнеобитаемый слой почвы — наземная фитомасса растений” базируется на данных, касающихся активности радионуклидов выпадений в корнеобитаемом слое почвы. В почвах агробиогеоценозов с регулярной агротехнической обработкой они равномерно распределяются по глубине пахотного слоя, для почв лесов и лугов характерен экспоненциальный характер распределения, параметры которого зависят от гранулометрического состава и режима увлажнения [21].

Наиболее простым способом прогнозирования содержания радионуклидов в наземной фитомассе растений оказывается оценка параметров накопления радионуклидов (коэффициентов накопления или перехода) относительно содержания в корнеобитаемом слое почвы. Величины параметров могут быть получены в ходе проведения экспериментальных исследований для наиболее типичных видов растений на данной территории либо исходя из литературных данных [22]. Более сложный способ — использование динамических моделей миграции радионуклидов, основанных, например, на системе линейных дифференциальных уравнений переноса радионуклидов между компонентами моделируемой системы [23]. Сложность их применения обусловлена необходимостью специальных радиоэкологических ис-

следований для выяснения параметров переноса радионуклидов в моделируемой системе с учётом специфических условий региона и верификации прогнозов на отдельной группе опытных участков. Результатом моделирования станет динамика активности радионуклидов в надземной фитомассе растений биогеоценозов, расположенных в реперных точках.

Радионуклиды могут поступать в растения из двух источников: путём непосредственного осаждения из атмосферы и через корни из почвы [23]. Вполне очевидно, что вклад каждого из источников будет различаться в зависимости от времени года, типа биогеоценоза, вида и времени радиоактивных выпадений. Так, если аварийные выпадения происходят во время вегетации растений, часть активности радионуклидов остаётся на поверхности надземной фитомассы, формируя пространственный источник облучения [23, 24]. В агро-биогеоценозах такой источник определяется степенью развития надземной фитомассы и эффективно работает только в вегетационный период при максимальном её развитии [24], в хвойных лесах — постоянно, в лиственных — пропорционально развитию биомассы ассимилирующих органов, как наиболее задерживающей радиоактивные выпадения [11]. При этом роль корневого поступления радионуклидов в течение вегетационного периода аварийных выпадений незначительна, однако в последующие вегетационные сезоны именно этот источник становится основным при отсутствии хронических выпадений [23]. Если существует только хронический источник поступления радионуклидов, то необходимо учитывать радиоактивное загрязнение надземной фитомассы из атмосферы и по корневому пути на протяжении всех вегетационных периодов.

Оценку накопления радионуклидов типичными представителями фауны исследуемых биогеоценозов представляется целесообразным проводить только для массово встречающихся и наиболее радиочувствительных видов животных. Подобную концепцию в оценке облучения фауны предлагает Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) [13]. К таким референтным организмам следует отнести: дождевого червя — для почвы, лягушку — для болот, оленя, мелких млекопитающих, пчелу — для природно-растительных комплексов большей части умеренных широт. Удельную активность радионуклидов выпадений в референтных организмах удобнее всего рассчитывать с помощью коэффициентов накопления или перехода относительно содержания их в почве [22]. При этом если это отдельно не оговаривается, удельная активность рассчитывается на весь организм без учёта типа распределения. Ограничением применения такого метода служит условие квазиравновесного распределе-

ния радионуклидов в окружающей среде. Однако в случае аварийных радиоактивных выпадений с преобладанием осаждаемых частиц на поверхности растений в организм животных, особенно растительноядных, такие частицы могут поступать в очень большом количестве [11]. К сожалению, для диких животных модели распределения радионуклидов по органам и тканям, как для сельскохозяйственных, до настоящего времени не разработаны [23, 25].

**Дозиметрическая составляющая** предназначена для оценки динамики доз внешнего облучения в исследуемых биогеоценозах и доз облучения референтных организмов. Оценку в реперных точках биогеоценозов следует проводить на различных высотах над поверхностью почвы от следующих источников [26].

- Облако радиоактивных газов и аэрозолей. Это постоянно существующий источник излучения при хронических радиоактивных выбросах, а в случае разового время его существования лимитируется продолжительностью выброса. Геометрия излучения такого источника может быть рассмотрена как полубесконечное пространство с равномерно распределённой объёмной активностью.

- Надземная фитомасса растений. Источник излучения образуют радионуклиды выпадений, непосредственно осаждаемые из атмосферы или поступившие по корневому пути. Геометрию излучения можно представить как бесконечный слой конечной толщины, равный высоте растений с равномерно распределённой активностью. При этом следует отметить динамичный характер изменения биометрических показателей растений (особенно однолетних) в течение вегетационного сезона и связанного с ним изменения активности в надземной фитомассе при задерживании частиц радиоактивных выпадений из атмосферы. Значение этого источника исключительно важно в формировании радиационной обстановки. В случае аварийных выпадений загрязнённая поверхность надземной фитомассы может создать мощный источник облучения, воздействуя прежде всего на точки роста, апикальные меристемы и репродуктивные органы, что приведёт к формированию широкого спектра радиационно-индуцируемых повреждений, вплоть до летальных [11, 12].

- Поверхностный слой почвы. Наличие данного источника излучения связано с осаждением радионуклидов на поверхность почвы, вследствие чего формируется облучение такой геометрии, которую можно представить в виде бесконечно протяжённого тонкого (0.5 см) слоя почвы, содержащего радионуклиды выпадений.

- Корнеобитаемый слой почвы. Данный источник ионизирующего излучения формируется

или по мере накопления радионуклидов в почве биогеоценозов по причине радиоактивных выбросов предыдущих лет и связан с их миграцией в вертикальном профиле почвы, или при перемещении корнеобитаемого слоя вследствие агротехнических мероприятий. Геометрия источника излучения — бесконечно протяжённый слой почвы конечной толщины.

- Референтные животные. В качестве источника излучения животные обычно рассматриваются при оценке доз их собственного внутреннего облучения от накопленных радионуклидов [13]. Как правило, тело животных представляют в виде геометрических фигур с равномерно распределённой активностью.

**Основные подходы к оценке доз в окружающей среде и референтных организмах.** Расчёт мощности доз, полученных от различных источников ионизирующего излучения, может проводиться с применением инженерных методов путём интегрирования дозовой функции точечного источника или с применением компьютерных программ, реализующих теорию переноса излучений на основе метода Монте-Карло для заданных геометрий источника и приёмника излучения. Первая группа методов отличается меньшей трудоёмкостью, позволяет проводить расчёты в условиях динамически изменяющихся параметров детектора и источника излучения. Хотя точность результатов невысока, применение инженерных методов расчёта вполне оправданно при экспресс-оценках формирования радиационной обстановки в биогеоценозах и доз облучения биоты [24]. Дозовые оценки на основе метода Монте-Карло адекватно отражают процессы переноса излучения, позволяют учесть широкий спектр материалов и геометрий окружающей среды и источника излучения, получить достаточно точные величины мощности доз, но их отличают высокая трудоёмкость и большая длительность проведения расчётов, а также необходимость подробного описания каждой из геометрий источника и приёмника излучения.

**Особенности формирования доз облучения в растительных и животных организмах.** Наиболее простой подход к оценке доз облучения референтных организмов — их представление в виде геометрических фигур с равномерно распределённой активностью [13], при этом величина поглощённой дозы рассчитывается путём интегрирования по объёму фигуры. Однако для каждого референтного организма как приёмника излучения характерны свои особенности формирования доз.

Облучение растительных сообществ может происходить практически из всех вышеперечисленных источников, начиная с облака радиоактивных газов и аэрозолей. Исследуя формирова-

ние дозы облучения растений, можно пренебречь  $\alpha$ -излучением, поскольку при внешнем облучении тяжёлые ядра гелия эффективно задерживаются поверхностными покровами надземной фитомассы растений, а вклад внутреннего облучения относительно мал в связи с низкими значениями параметров накопления  $\alpha$ -излучающих радионуклидов [13]. При оценке полученных растением доз  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения особое внимание следует обратить на высоты расположения точек роста и репродуктивных органов. Отметим, что роль  $\beta$ -излучения в формировании дозы исключительно высока, особенно при поверхностном радиоактивном загрязнении надземной фитомассы вследствие аварийных выпадений [11, 12, 23]. Это связано с тем, что ряд радионуклидов в составе выпадений и образуемые из них дочерние радионуклиды, например  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ,  $^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$ ,  $^{132}\text{Te}+^{132}\text{I}$ ,  $^{144}\text{Ce}+^{144}\text{Pr}$ , характеризуются большой максимальной энергией  $\beta$ -излучения с величинами пробега, исчисляемой полутора десятком метров в воздухе и сантиметрами — в биологической ткани. Но внутри поверхностно загрязнённой надземной фитомассы растений будут формироваться поля не только  $\beta$ -, но и  $\gamma$ -излучения. Учёт их обоих крайне важен для оценок облучения репродуктивных органов растений, однако в существующей дозиметрической модели, в частности для сосны обыкновенной, они во внимание не принимаются [13]. Желательно, кроме того, введение поправочных коэффициентов на экранирование излучения поверхностными органами и тканями. Исследования, имитирующие ослабление излучения при его прохождении через поверхностные покровы точек роста или репродуктивных органов, свидетельствуют, что при этом мощность дозы  $\beta$ -излучения может понижаться от 2 до 5 раз [23, 24].

Облучение почвенной биоты возможно как от внешнего источника (облако выброса, пахотный и поверхностный слой почвы, надземная фитомасса растений), так и от внутреннего. В поверхностных слоях почвы могут формироваться значительные дозы облучения почвенной микро- и мезофауны от внешнего  $\beta$ -излучения, а по мере заглубления определяющая роль в поражении почвенных животных будет принадлежать внешнему  $\gamma$ -излучению. Оценка внутреннего облучения должна проводиться по уровню  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, при этом содержание радионуклидов в животном организме можно принять равным удельной активности почвенных слоёв его обитания, а величину мощности дозы оценить исходя из предположений и допущений, рассмотренных выше.

Внешнее облучение наземных животных, в первую очередь млекопитающих, которые отличаются наибольшей радиочувствительностью,



целесообразно рассматривать как результат  $\gamma$ -излучения радионуклидов атмосферного воздуха, поверхности надземной фитомассы растений, поверхностного и корнеобитаемого слоёв почвы. Расчёт мощности дозы желательно проводить в два этапа [24], определив на первом дозовый показатель в точке, где будет находиться животное, на втором — мощность среднепоглощённой дозы в его теле. Такая схема позволит избежать одновременного интегрирования по объёму источника и объёму тела животного. Внешнее облучение от  $\beta$ -излучающих радионуклидов в данном случае не повлияет значительно на суммарную дозу, за исключением случаев оценки воздействия на базальный слой кожи, поскольку подавляющая доля  $\beta$ -частиц будет задерживаться поверхностными покровами тела. Гораздо большую актуальность и определённую методологическую трудность представляют расчёты доз внутреннего облучения от  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих радионуклидов, что связано с несколькими причинами.

Во-первых, рекомендованные к использованию для оценок доз облучения референтных животных коэффициенты пересчёта основаны на квазиравновесном распределении радионуклидов в биогеоценозе и системе «корм—животное» [22], однако это распределение при аварийных радиоактивных выпадениях существенно отличается от квазиравновесного. Во-вторых, практически все коэффициенты дозового преобразования, рекомендуемые для оценки доз облучения животных, рассчитаны из условия равномерного распределения радионуклидов выпадений в организме, что не всегда соответствует действительности. При алиментарном пути поступления радионуклидов все они проходят через желудочно-кишечный тракт, однако далеко не все всасываются в кровь и распределяются в организме. Например, всасывание радиоактивных изотопов редкоземельных и трансурановых элементов не превышает долей процента от содержания в рационе [23], тем не менее при прохождении желудочно-кишечного тракта они облучают его слизистую оболочку. К сожалению, работы по этим проблемам немногочисленны [25], хотя расчёт доз облучения желудочно-кишечного тракта животных исключительно важен для оценки последствий, особенно у растительноядных в первые недели и месяцы после аварийных выпадений. В-третьих, даже при квазиравновесном распределении радионуклидов в экосистеме и постоянной активности в рационе концентрация остеотропных радионуклидов (например,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $\text{Pu}$ ) продолжает возрастать в костной ткани на протяжении всего срока жизни животного. В-четвёртых, остаётся открытым вопрос о составе референтных животных при радиоэкологических исследованиях радиационного воздействия. Так, в биогеоценозах умеренных широт пресмыкающиеся, хотя они и

не обладают высокой радиочувствительностью, отличаются самыми высокими коэффициентами накопления радионуклидов. Относительно высоки они и у всеядных животных, например у некоторых видов мелких грызунов, дикой свиньи [27], при этом по уровню радиочувствительности они близки к человеку. Для хищных животных (ласка, хорёк, куница, рысь, волк), потребляющих мышечные ткани растительноядных, характерно возрастание накопления в организме равномерно распределённых радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ). По этому показателю они могут опередить свои жертвы, причём при сопоставимых дозах внешнего облучения.

Из приведённых примеров следует вывод: в дозиметрии живых организмов остаётся ещё много невыясненных и неоднозначно трактуемых вопросов, которые требуют выработки единых подходов, научного обоснования и разработки моделей формирования доз. В свою очередь, дозиметрические модели радиационной обстановки, внешнего и внутреннего облучения референтных организмов должны стать основой дозиметрической составляющей радиоэкологических оценок состояния окружающей среды. Исходными данными при дозиметрических оценках станут показатели динамики активности радионуклидов выпадений в основных средах, выходными — показатели динамики мощности дозы облучения в реперных точках типичных биогеоценозов.

**Оценка радиационного воздействия на природную среду** аккумулирует в себе основные предшествующие результаты. Итоговая информация в геоинформационной системе должна быть представлена в виде электронных карт-схем по динамике:

- объёмной активности в атмосфере и плотности осадений на земную поверхность каждого радионуклида выброса;
- активности радионуклидов в различных компонентах типичных биогеоценозов — на поверхности растений и почвы, в корнеобитаемом слое почвы, при корневом поступлении в надземную фитомассу, в органах и тканях референтных организмов;
- мощности дозы внешнего  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения от различных источников (атмосферный воздух, поверхностный слой надземной фитомассы и почвы, корнеобитаемый слой почвы);
- мощности дозы от внешнего и внутреннего излучения референтных организмов типичных биогеоценозов;
- вероятности возникновения радиационно-индуцируемых эффектов в референтных организмах, а также вероятности сукцессионных изменений в типичных биогеоценозах.

\* \* \*

Прогнозирование последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды — комплексная мультидисциплинарная научная проблема. Решение её требует привлечения специалистов из разных областей знания. Описание территории — в компетенции географов, почвоведов, геоботаников, зоологов, лесоводов. Совместно с радиоэкологами они могут подготовить перечень типичных биогеоценозов с характерным для них составом флоры и фауны для прогнозных оценок накопления радионуклидов и связанных с ними доз облучения. Для уточнения параметров миграции радионуклидов в вертикальном профиле почвы и накопления в системе “корнеобитаемый слой почвы — надземная фитомасса растений” представляется целесообразным закладка сети пунктов постоянного наблюдения в типичных биогеоценозах на территории распространения радиоактивных выпадений. Объединённые усилия специалистов в области физиологии растений и животных, радиоэкологии и дозиметрии будут способствовать обоснованию и разработке дозиметрических моделей облучения растений и животных как в начальный период после аварийных выпадений, так и при хроническом поступлении радиоактивных веществ, пониманию закономерностей формирования полей излучения в биогеоценозах.

Нами рассмотрены подходы к оценке состояния только сухопутных биогеоценозов и пока не затронуты вопросы радиационного воздействия на водную биоту. Не менее важными представляются и разработка и обоснование основных положений и допущений вероятностного подхода при проведении оценок радиационного воздействия.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексахин Р.М.* Ядерная энергия и биосфера // М.: Энергоиздат, 1982.
2. *Aleksakhin R.M.* Radioecology of the 21<sup>st</sup> Century. Herald of the RAS. 2010. V. 2. P. 165–172; *Алексахин Р.М.* Радиоэкология XXI века // Вестник РАН. 2010. № 4. С. 321–328.
3. Sources and effects of ionizing radiation: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly with scientific annexes. V. 1. Sources. New York: United Nations, 2008.
4. *Тишков В.П., Степанов А.В., Гаврилов В.М.* Содержание радионуклидов <sup>85</sup>Kr и Xe в атмосферном воздухе Северо-Западного региона России в 2006–2008 гг. // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина. 2011. Т. XV. С. 141–167.
5. *Корсаков А.Т., Тертышник Э.Г.* Криптон-85 в атмосфере // АНРИ. 2013. № 4(75). С. 19–27.
6. Итоги изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения территорий продуктами деления урана / Под ред. А.И. Бурназяна. М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общ. ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001.
8. Sources and effects of ionizing radiation: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. V. 1. Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. New York: United Nations, 2014.
9. *Панов А.В., Санжарова Н.И., Переволоцкий А.Н. и др.* Анализ национальной системы нормативного и правового обеспечения радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды вблизи объектов и территорий, загрязнённых техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности // Радиация и риск. 2017. № 2. С. 107–121.
10. Основные принципы оценки воздействия ионизирующего излучения на живые организмы за исключением человека. Публикация МКРЗ 91 / Пер. с англ. М.: Комтехпринт, 2004.
11. *Кривоуцкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Фёдоров Е.А. и др.* Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз. М.: Наука, 1988.
12. *Козубов Г.М., Таскаев А.И.* Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы (1986–2001 гг.). М.: ИПЦ “Дизайн. Информация. Картография”, 2002.
13. Защита окружающей среды: концепция и использование референтных животных и растений. Публикация МКРЗ 108 / Пер. с англ. М.: Академ-Принт, 2013.
14. Р 52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки // Обнинск: Росгидромет, НПО “Тайфун”, 2015.
15. *Shershakov V.M., Borodin R.V., Kosykh V.S.* Radioecological analysis support system (Recass) // Radiation Protection Dosimetry. 1993. № 2–4. P. 181–184.
16. *Арутюнян Р.В., Беликов В.В., Беликова Г.В. и др.* Компьютерная система Нострадамус для поддержки принятия решений при аварийных выбросах на радиационно опасных объектах // Изв. РАН. Энергетика. 1995. № 4. С. 19–30.
17. Методы расчёта распределения радиоактивных веществ в атмосфере и доз облучения населения. М.: НТД МХО, 1992.
18. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 г. Ежегодник. Обнинск: Росгидромет, НПО “Тайфун”, 2019.
19. *Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н., Спиридонов С.И.* Кластерный анализ для оценки радиационного воздействия штатных выбросов АЭС на биоту // Радиация и риск. 2018. № 1. С. 43–52.
20. *Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н.* Математическая модель распределения радионуклидов в системе “надземная фитомасса растений — поверхность почвы” при хронических радиоактивных

- выпадениях в лесном биогеоценозе // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. № 2. С. 209–216.
21. *Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В.* Прогнозирование вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных почвах Республики Беларусь // Радиационная биология. Радиоэкология. 2012. № 6. С. 625–635.
22. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6). 2009.
23. *Алексахин Р.М., Васильев А.В., Дикарёв В.Г. и др.* Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1992.
24. *Спирин Е.В.* Метод расчёта доз облучения животных для оценки последствий загрязнения окружающей среды // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. № 5. С. 608–616.
25. *Козьмин Г.В., Епимахов В.Г., Снегирёв А.С.* Транспорт радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте овец // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. № 3. С. 305–316.
26. *Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В., Спиридонов С.И.* Концептуальные положения дозиметрической модели облучения растений биогеоценозов при хронических радиоактивных выпадениях // Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. № 1. С. 94–102.
27. *Ильенко А.И., Крапивко Т.И.* Экология животных в радиационном биогеоценозе. М.: Наука, 1989.

## “НЕБЕСНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ”

### К 145-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА А.А. УХТОМСКОГО

© 2020 г. Л. В. Соколова<sup>а,\*</sup>, А. Д. Ноздрачев<sup>а,\*\*</sup>

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: [lvokolova2001@mail.ru](mailto:lvokolova2001@mail.ru)

\*\*E-mail: [a.d.nozdrachev@mail.ru](mailto:a.d.nozdrachev@mail.ru)

Поступила в редакцию 03.03.2020 г.

После доработки 20.03.2020 г.

Принята к публикации 08.04.2020 г.

Творчество Алексея Алексеевича Ухтомского (1875–1942) выходит далеко за пределы чисто физиологического знания и являет собой редчайшую, но столь значимую сегодня попытку рассмотрения человека как единого целого, в контексте его биологического, социального и духовного существования. В настоящее время концепция Ухтомского о природе человека, предвосхищающая ряд направлений современных исследований, позволяет не просто глубже понять природу человеческого сознания и механизмы поведения, но по праву считается одной из наиболее перспективных в области человековедения. Она служит примером комплексного, системного подхода к изучению важнейших детерминант жизнедеятельности человека и во многом знаменует смену научных парадигм.

**Ключевые слова:** А.А. Ухтомский, биосоциальная природа человека, принцип доминанты, интегральный образ, антропосоциогенез.

DOI: 10.31857/S0869587320060110

На протяжении веков человек пытается разрешить великую загадку: кто он есть — творение Божие или венец Природы? Что определяет наши мысли, слова, поступки? Для многих искателей истины призыв античных мудрецов “Познай самого себя” стал путеводной звездой в пути постижения смысла бытия и тайн человеческой природы. В числе таких искателей — выдающийся русский учёный, мыслитель Алексей Алексеевич Ухтомский (1875–1942), творчество которого до недавнего времени прочно связывалось с весьма конкретной областью знаний. Он вошёл в анналы науки как создатель учения о доминанте — главном принципе работы нервных центров, лежащем в основе организации целенаправленного поведения организма в среде. Однако наследие одного из основателей физиологической научной школы Санкт-Петербургского университета выходит далеко за эти рамки. Изучение архивов учёного позволило открыть ещё одну грань его творческого дарования, ставящую А.А. Ухтомского в

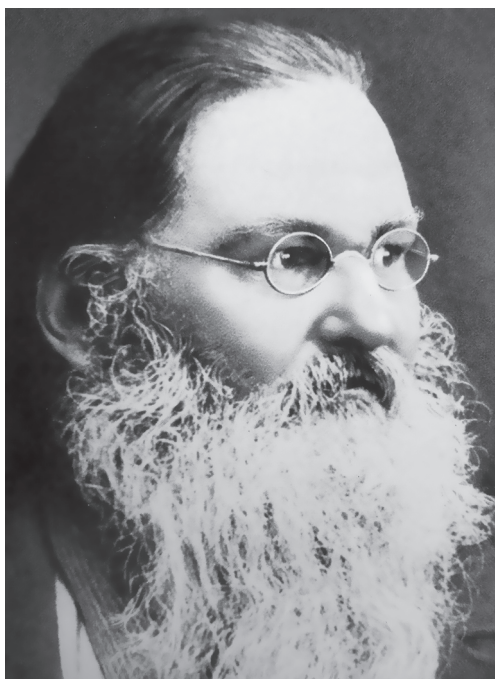
число крупнейших научных, религиозно-философских и социальных мыслителей XX столетия. Будучи энциклопедически образованным, питая склонность смыкать в едином процессе исследования проблемы духовные и естественно-научные, Ухтомский разработал стройное учение о биосоциальной природе человека, в котором человек предстаёт в неразрывном единстве его материальных и идеальных составляющих.

## У ИСТОКОВ

Алексей Алексеевич Ухтомский родился 13(25) июня 1875 г. в селе Вослома Арефинской волости Рыбинского уезда Ярославской губернии. Его отец князь Алексей Николаевич Ухтомский окончил кадетский корпус в Нижнем Новгороде, в течение 10 лет служил на Балтийском флоте. По выходе в отставку женился на Антонине Фёдоровне Анфиловой, выпускнице Павловского института благородных девиц в Петербурге, и поселился с нею в своём родовом имении Вослома, что располагалось в 10 верстах от Рыбинска<sup>1</sup>. Кроме Алексея в

СОКОЛОВА Людмила Владимировна — доктор биологических наук, профессор кафедры высшей нервной деятельности и психофизиологии биологического факультета СПбГУ. НОЗДРАЧЕВ Александр Данилович — академик РАН, профессор кафедры общей физиологии биологического факультета СПбГУ.

<sup>1</sup> В 1990 г., в дни празднования 115-й годовщины со дня рождения учёного, здесь был открыт Мемориальный дом-музей академика А.А. Ухтомского.



Алексей Алексеевич Ухтомский. 1930-е годы.

семье росли его сёстры Мария и Елизавета, брат Александр (впоследствии известный в религиозной и политической истории России под именем епископа Уфимского и Мензелинского Андрея); два других брата умерли в младенчестве. В 1876 г. родители приняли решение отдать годовалого Алёшу на воспитание старшей сестре Алексея Николаевича — княгине Анне Николаевне Ухтомской, женщине одинокой, набожной. В её скромном деревянном доме, располагавшемся на окраине Рыбинска за рекой Черемхой, прошли детские годы будущего учёного, едва ли не самые счастливые в его жизни.

Места, где жили князья Ухтомские, издавна слыли одним из главных центров старообрядчества, и психология, пропитанная идеями соборности, пусть ещё не вполне осознанная, с детства впитывалась Алексеем. За годы жизни религиозное сознание Ухтомского прошло трудный путь духовного осмысления — от сочувствия и симпатии к духу староотеческой веры до целостного учения о нравственности. Без понимания значимости этих истоков трудно прочувствовать то, что сделано им в науке.

В 1882 г. мальчика отдают в Рыбинскую мужскую гимназию. Однако не закончив полного курса, в 1888 г. Алексей по настоянию матери поступает в Нижегородский графа Аракчеева кадетский корпус — одно из привилегированных военных учебных заведений России, которое некогда заканчивал его отец и куда годом раньше поступил старший брат Александр. Но вскоре для бра-

тьев стал высвечиваться иной путь, и в этом немалую роль сыграла их встреча с отцом Иоанном Кронштадтским, произошедшая на волжском пароходе, когда мать везла сыновей на каникулы домой. Между ними состоялась долгая беседа, после чего братья приняли для себя решение круто изменить свою жизнь и поступить в Московскую духовную академию.

Но была ещё одна альтернатива в выборе жизненного пути. Как вспоминал позднее Алексей Алексеевич, именно в кадетском корпусе у него пробудилась тяга к науке. Многие преподаватели, люди неординарные, помимо специальных знаний развивали у слушателей интерес к вещам более сложным, стремились сформировать у них определённое мировоззрение. Ухтомский увлекается философией, психологией, пытается найти ответы на вопросы о природе детерминант поведения человека, уяснить законы познания им окружающего мира, выявить сущность этических проблем человеческого существования. Его интересует психология религиозного опыта, доказательства почти биологической оправданности этой стороны духовной жизни человека. Чем объяснить устойчивость религиозных верований в истории, равно как и тот факт, что глубинные религиозные переживания конкретного человека дают ему высокую степень душевного комфорта и стабильности поведения? Почему люди веруют, несмотря на гонения, лишения, отдавая порой за веру свою жизнь? В конце концов, почему в течение веков живёт в народе спасительная идея “горнего края”, не позволяющая ему опускаться до скотского состояния и заставляющая самого человека постоянно заботиться о собственной духовной чистоте? Не есть ли вера естественный и необходимый закон жизни человека?

## НАУКА ИЛИ РЕЛИГИЯ?

В 1894 г. Алексей Ухтомский поступает на словесное отделение Московской духовной академии. В период обучения он настойчиво продолжает самообразование в области философии и психологии, однако пребывание в академии ещё более обостряет душевный конфликт: наука или религия? какое поприще выбрать? И уже тогда он решает совместить две жизненные траектории, не видя в этом противоречия.

Характер мировоззрения Ухтомского ярко отразился в его выпускном сочинении “Космологическое доказательство Бытия Божия”. Здесь проявился ещё один круг интересов — естественные науки. Познание законов мироустройства не мыслилось им без рассмотрения проблем эволюции органического мира, стремления выявить связи и взаимодействия в живой природе.





Семья Ухтомских. Второй слева — А.А. Ухтомский.

В общественном сознании второй половины — конца XIX в. значительное внимание привлекала “естественность” во всех её проявлениях. Это было связано прежде всего с широким проникновением в обиход биологических понятий. Активно развивается философия естествознания в попытке создать фундамент для нового взгляда на природу вообще и человека в частности. Но что удивительно: в таких сферах, где менее всего можно было ожидать “естественного объяснения событий”, например в богословии, намечались те же тенденции — стремление перейти от привычных рассуждений о “сверхъестественном” к понятию “естественного” к области духовной жизни человека. Это сближение богословия с духом науки, в которой понятие “естественности” занимает едва ли не определяющее место, Ухтомский считает самым дорогим приобретением для развития человеческой мысли.

“Два пути, две сокровищницы мысли, — записал он в дневнике тех лет, — известны мне и со-

временному мне человечеству, в которых оно может черпать ответ на вопросы жизни: первый, заветный мне воспоминанием и лучшим временем юности, — путь христианской и святоотеческой философии; второй — в науке, которая и есть метод по преимуществу. Почему, откуда это роковое разделение путей, имеющих одну цель впереди себя? Не составляют ли эти два пути по существу одно? — вот вопрос, всю полезную важность которого я пойму, вероятно, лишь когда буду ближе к его решению, но которым занимаюсь прежде всего” [1, с. 71].

Ухтомский полагает, что религиозный опыт, исторический и личный, необходимо включить в сферу научного познания. Физиология, психология и история религиозного опыта — вот те области, в которых может быть намечен прорыв в истинном понимании природы человека.

Ухтомский начинает отчётливо осознавать, что дальнейшее изучение этих вопросов невозможно без специального и углублённого изуче-



ния основ нервной деятельности и физиологии поведения. Причём он понимает необходимость комплексного изучения этих проблем, которое подразумевает рассмотрение человека во всей совокупности его биологических и духовных составляющих. «Мы привыкли думать, что физиология — это одна из специальных наук, нужных для врача и ненужных для выработки мировосприятия. Но это неверно. Теперь надо понять, что разделение “души” и “тела” имеет лишь исторические основания, что дело “души” — выработка мировосприятия не может обойтись без знания “тела” и что физиологию надлежит положить в руководящие основания при изучении законов жизни (в обширном смысле)» [1, с. 43].

### НИТЬ АРИАДНЫ

Осенью 1900 г. А.А. Ухтомский становится студентом естественного отделения физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета. Своим основным интересом он ставит познание различных уровней взаимодействия организма со средой и выявление законов организации целостного поведения. С этой целью он начинает специализироваться в физиологической лаборатории Н.Е. Введенского, ученика и преемника И.М. Сеченова, заложившего основы университетской физиологической научной школы.

Весной 1904 г., во время подготовки животных к демонстрации опытов на лекциях Введенского по физиологии нервных центров, Ухтомский столкнулся с интересным, но необъяснимым фактом. На лекции предстояло продемонстрировать студентам элементарную модель рефлекторной дуги: электрическое раздражение определённого участка коры головного мозга собаки должно было вызвать столь же определённое движение задней конечности животного. Но на сей раз демонстрация не удалась — в простую и, казалось бы, однозначную рефлекторную реакцию вмешалась какая-то сила, полностью изменившая ответ организма: вместо ожидаемой двигательной реакции животное совершило совсем другое действие, не ассоциированное с раздражаемым нервным центром. Но, как говорится, “случай посещает тех, кто его ищет” — замкнулась некая логическая цепь рассуждений. Движимый установкой рассматривать явления в их целостности и взаимосвязи, Ухтомский увидел здесь не “ошибку опыта”, но одну из самых существенных закономерностей в работе нервных центров.

Закончив университетский курс с дипломом I степени, осенью 1906 г. Ухтомский был зачислен на должность лаборанта физиологического кабинета. Отныне основная направленность его научных поисков — изучение природы интегративной деятельности мозга как целостного обра-

зования. В мае 1911 г. он защищает магистерскую диссертацию “О зависимости кортикальных двигательных эффектов от побочных центральных влияний”, в которой уже содержится прообраз его теории доминанты как главного межсистемного принципа работы мозга, обеспечивающего организму возможность активного, целенаправленного взаимодействия со средой. Ухтомский ставит перед собой вопрос: чем определяется функциональное состояние организма и как оно влияет на его ответную реакцию? И приходит к выводу, что возможность осуществления организмом той или иной целенаправленной деятельности зависит от тончайшей динамики процессов возбуждения и торможения в нервной системе. Если в каком-то её отделе появляется своеобразный очаг повышенного возбуждения, то он начинает втягивать в орбиту своей активности энергию других нервных центров и одновременно тормозить возможность появления иных фокусов активности. В итоге формируется некий “функциональный орган”, энергичный по своей природе, который объединяет в едином функциональном задании нервные центры, расположенные на различных этажах головного и спинного мозга. Его наличие и будет определять функциональное состояние организма в данный момент времени и вместе с тем векторную направленность поведения.

Однако связывать истоки формирования представлений Ухтомского о значимости доминантных явлений в деятельности организма только с чисто физиологическими константами не совсем правильно. Как справедливо считает В.П. Зинченко [2], в разработке принципа доминанты огромную роль сыграло религиозное сознание учёного. Ухтомский с юных лет глубоко проникся идеями православной патристики и исихастской антропологии и был приверженцем старообрядческого течения в православии, во многом базирующегося на аскетической традиции исихазма. В исихазме (от др.-греч. — ἡσυχία, спокойствие, тишина, уединение) было детально разработано представление об энергийной сущности человека. Согласно ему, человек представляет собой упорядоченное единство всевозможных и разнонаправленных энергий. Более того, в качестве центрального конструкта исихастского опыта выдвигалось понятие процесса постепенного, динамического преобразования энергий человека, что связано с проблемой развития человека как системы, открытой для постижения высшего смысла бытия. Идея развития мыслилась в исихастской традиции как ступенчатый процесс, в рамках которого выстраивается череда меняющихся способов организации “энергийного человека”. Метафорически это осмысливалось в виде вертикали, лестницы, каждой ступени которой соответствует свой энергийный образ человека,

складывающийся из совокупных функциональных потенциалов организма. Это выстраивание восходящей иерархии энергоформ сродни динамике самоорганизации, структурирования хаоса — понятий, положенных в основу синергетической парадигмы [3].

Именно заложенные в исихазме идеи о развитии как восхождению от низшего, природного, к высшему, духовному (в конечном счёте — к Богу) обусловили и то, что принцип доминанты как общий, системообразующий принцип организации всех уровней взаимодействия организма с окружающей средой был положен Ухтомским в основу построения целостной концепции биосоциальной природы человека. Доминанта — мощное по своим потенциалам энергетическое образование, и эволюция её уровней идёт от формирования низших доминант, обуславливающих возможность удовлетворения физиологических потребностей организма, до высших форм, направляющих духовную жизнь человека и общества в целом.

Однако выступить с сообщением об открытии нового принципа Ухтомский решился только после смерти Н.Е. Введенского. В 1923 г. в “Русском физиологическом журнале”, на страницах которого присутствовал его некролог в связи с кончиной учителя, была опубликована и программная статья Ухтомского “Доминанта как рабочий принцип нервных центров”. Ухтомский с самого начала рассматривал предложенный им принцип доминанты как междисциплинарный, выводя его за рамки узкоспециального физиологического закона, увязывая его с фундаментальными вопросами человеческого бытия и познания, личной социальной сущности, распространив этот принцип на наиболее сложные формы психического отражения действительности и духовной жизни личности.

В 1923–1927 гг. выходит ряд работ, в которых Ухтомский намечает разные линии рассмотрения действия доминанты на уровне целостного поведения, затрагивая при этом физиологические, психологические и этические аспекты. Вместе с тем для многих современников его поистине гениальные прозрения в области изучения природы поведения и психики человека так и остались лишь проявлениями “философствующего разума”, не имеющими отношения к “фактологическому” полю науки. В них не увидели единой логики рассуждений, не узрели (или не захотели узреть) тех намеченных Ухтомским магистральных линий в изучении природы человека, которые позволяли представить его поведение в единой целостности биологических, психологических и социокультурных составляющих.

На то были вполне осязаемые причины. В 1930-е годы о многих проблемах, которые поднимались Ухтомским, говорить было попросту

опасно. В стране царил диктат не только политической, но и научной доктрины, партия “узаконила” только одно имя — великого И.П. Павлова. Его учение об условных рефлексах было провозглашено единственно правильным, способным объяснить поведение и низших животных, и человека. И хотя сам Иван Петрович в конце жизни стал прекрасно понимать, что не всё в поведении высших животных, в том числе и человека, можно объяснить с точки зрения простых рефлекторных реакций, власть предрекавшие взяли на щит только один удобный им тезис: “Рефлексы — везде рефлексы”. А это значит, что путём выработки новых (“нужных”) рефлекторных реакций можно управлять поведением организма. Вот это-то в полной мере и было воспринято властью, поскольку оправдывало её устремление на создание людей “нового типа”, на контроль и руководство действиями и мыслями человека. На внутренний мир человека, его психическое, духовное начало был наложен запрет, а тех, кто имел смелость браться за изучение природы души, — а среди них был и Ухтомский — подвергали гласному и негласному гонению. Нет, у Ухтомского не отнимали возможность публиковать свои работы, их просто ограничивали сугубо физиологической тематикой. Даже в собрание его сочинений, которое вышло в 1950–1962 гг., оказались включены только эти официально пропущенные статьи и материалы [4]. Лишь в 2015 г. в издательстве Санкт-Петербургского университета была издана книга его статей и выступлений разных лет, куда вошли как известные, так и неизвестные ранее работы учёного, позволяющие проследить направленность его научной мысли в разные периоды жизни [5].

Вместе с тем значимость идей Ухтомского для современного уровня развития знаний о человеке неоспорима. Сегодня принцип доминанты должен рассматриваться как ведущий фактор антропосоциогенеза. Человек и среда — важнейшие для осмысления жизни понятия — в представлении Ухтомского неотделимы друг от друга. С точки зрения биологии человек буквально пропитан “эволюционной культурой”, то есть несёт в себе лучшее из достигнутого природой на трудном пути развития. При этом среда для человека — не просто объективная пространственно-временная реальность, но особое биосоциокультурное пространство. Внешняя среда неминуемо несёт на себе отпечаток многовекового опыта взаимоотношений человека с миром, она уже субъективно опосредована вмешательством предшествующих поколений, а стало быть, всегда предстаёт в контексте культуры, объединяющей как индивидуальный, внутренний мир человека — это “зазеркалье”, так и коллективное бессознательное, которое Ухтомский называл “преданием отцов”, “опытом предания”.

Для Ухтомского биологическое, психическое и социальное в человеке, а в конечном счёте биология и культура, выступают как неразрывная амальгама, части единой и нераздельной природы человека. Недаром все научные искания учёного были направлены на выявление тех основополагающих законов работы мозга, которые обеспечивают сложные формы отражения действительности и духовной жизни личности.

## ИНТЕГРАЛЫ СРЕДЫ – ИНТЕГРАЛЫ ОПЫТА

Для того чтобы лучше понять суть идей Ухтомского относительно природы человека, обратимся к тому, как он представлял действие доминанты на уровне целостного организма.

В каждый момент времени на организм действует огромное множество разнокачественных средовых стимулов, которые наш мозг мгновенно объединяет в некий первичный синтез – единый комплексный образ среды, отражающий характер наличной ситуации. Целостность нашего восприятия Ухтомский считал универсальным свойством процесса отражения внешнего мира. Вместе с тем он подчёркивал не менее важное свойство нашего восприятия – его избирательность как способность отражать мир в соответствии с текущими потребностями организма. Наличная потребность вызывает появление в нервной системе первичного доминантного фокуса (очага) мозговой активности, который, набирая энергетическую силу, начинает вовлекать в эту активность всё новые и новые нервные центры, формируя в итоге рабочую констелляцию (созвездие) пространственно разнесённых мозговых участков, которая работает на единое функциональное задание и тем самым обеспечивает единый вектор поведения.

Но для того чтобы сформировалась адекватная программа действий по удовлетворению текущей потребности, требуется не менее важное звено – актуализация памятного фонда организма, которая ориентирует организм на использование предшествующего опыта для решения насущных задач. В результате сопоставления прошлого и настоящего, то есть памятного фонда и сформировавшегося комплексного образа среды, из общего объёма поступающей информации организм отбирает лишь тот информационный компонент, который по прошлому опыту является значимым с точки зрения успешности удовлетворения в будущем сходной потребности. В итоге этого сопоставления складывается новый, вторичный синтез – субъективно окрашенный интегральный образ как некий проект деятельности (поведенческая программа, осознанная образ-идея), отражающий возможный, то есть вероятностный, характер разворачивания событий.

Проверка правильности выбранного образа-проекта, его соответствия реальности и текущим запросам организма есть дело конкретного опыта. И здесь вступают в силу наши эмоции: с их помощью человек оценивает результаты деятельности и степень успешности выполненных действий. Если программа выбрана правильно и человек достигает намеченного, то сформированный интегральный образ в качестве полноценного и перспективного для будущего использования компонента поведения входит в памятный фонд организма. При неудовлетворительном результате происходит корректировка интегрального образа – пересмотр информационной составляющей наличной среды и поиск иных средств решения задачи, равно как и повторный анализ следового фонда организма с целью выявления более приемлемых способов её решения.

Эта способность постоянного порождения “нового”, по Ухтомскому, является одним из ярких проявлений творческой функции мозга. Он писал: “Из известных до сих пор фактов синтезирующая мысль строит проект действительности. Хорош ли он, скажет будущее: будущее приведёт к столкновению с фактами, ещё не изученными и подлежащими учёту. Но если проект так или иначе сложится, это значит, что для него были достаточные основания, лежащая за ним доминанта и установка имела данные для себя. И, строя проект (интегральный образ действительности), человек побеждал, борясь за осуществление этого проекта, т.е. строил будущее. Через человека бытие строит своё будущее, ибо человеку дано не только строить проекты по прошлому, но и бороться за внесение их в будущее” [1, с. 440]. В интегральном образе как живом, динамическом образовании виртуально совмещаются прошлое, настоящее и будущее, образуя единый пространственно-временной континуум жизнедеятельности человека.

Эти бесценные идеи Ухтомского о ведущей роли образа в формировании биосоциокультурного пространства человека практически переворачивали традиционную парадигму относительно основ его познавательной активности. Взамен устоявшегося в веках представления о процессе познания как дискретно-линейной зависимости – от анализа к синтезу – Ухтомский выдвинул истинно революционное представление о процессе познания как отражении диалектически непрерывного круга – от складывания первичного сенсорного синтеза через анализ прошлого опыта и текущих потребностей организма к формированию вторичного, уже предметно ориентированного синтеза (образа) как некой выработанной программы-прогноза будущих действий.

## ЧЕЛОВЕК – СУЩЕСТВО ПО ПРИРОДЕ СВОЕЙ ИДЕАЛИСТИЧЕСКОЕ

Величайшая заслуга Ухтомского состоит в том, что, выявив системообразующую роль интегрального образа в формировании целенаправленного поведения человека, он впервые с новых позиций обосновал глубокую психофизиологическую подпочву таких понятий, как осознанная образ-идея, идеал, общественно значимые идеалы-цели, отнеся их к важнейшим детерминантам социального поведения человека и общества. Отсюда и сама культура предстаёт для Ухтомского не как статичное образование, а как динамически развивающееся целое, в основе которого лежит квинтэссенция человеческих идеалов и плодов реальной деятельности людей, ведомых этими идеалами.

Нельзя не признать, что наше время – время крушения идеалов. Раскритиковав и выкинув на “политическую помойку” те идеалы, которыми многие десятилетия жило наше общество, равно как до этого отправив на “свалку истории” те вневременные идеалы, которыми век от века питалась душа человеческая, мы, по сути, нарушили естественные законы существования (и выживания!) человеческого сообщества. Ухтомский писал, что “идеализм, непрестанное построение идеальных проектов, вера в эту идеальную будущую реальность как в осуществляющийся факт, хотя бы для близорукого осязания казался призрачным и обманчивым предвосхищаемый зрительный образ, – это всё прямые следствия нашего физиологического *modus operandi*!” [1, с. 164].

Отсюда нормальное положение веры в человеческой природе. Ухтомский не раз говорил, что человек – существо идеалистическое по своей природе, он не может жить без идеалов. Так устроена природа нашей психики, что идеал – желанный, искомый, манящий, в котором находит отражение великая дихотомия “Я” и “Мы”, всегда обеспечивает вектор нашего социального поведения. Он не может быть подменён сиюминутным образом желаемого, полезного и выгодного для человека – тем, что удовлетворяет его эгоистические интересы. Идеал – это всегда стремление к чему-то высшему, это всегда возрастание через себя к тому, что выходит за рамки простого, единичного человеческого существования. В идеале заключена важнейшая нравственная константа нашей жизни, через него должны преломляться и им опосредоваться все индивидуальные устремления. От того, каково будет содержание и смысл этих идеалов, зависит вектор духовного развития как самого человека, так и общества в целом.

На принципе “творческой идеализации” построены и выработанные А.А. Ухтомским законы общения – закон Двойника и закон Заслуженного собеседника, которые отражают два типа ори-

ентаций человеческого сознания и поведения и в основе которых лежат два рода доминант. Двойник выявляет в человеке “доминанту на своё лицо” (видение мира сквозь призму индивидуальных доминант, эгоистическая сосредоточенность на себе), но это является психофизиологически оправданным состоянием человека, обуславливающим субъективность нашего восприятия. Однако если подобный способ отношения к миру станет привычным и устойчивым, то человек оказывается творчески “неплодным”: он теряет ведущую константу своей природы – утрачивает способность познавать мир и окружающих людей во всей полноте их проявлений. Всему мешает собственное “Я”, вокруг которого концентрируется и обобщается опыт жизни.

Вместе с тем человек живёт в обществе, он связан в этом мире сложнейшей системой человеческих взаимоотношений. Если человек замкнут в рамках только собственного “Я”, – состояния статичного, консервативного, монологичного, то и остальных он начинает судить по себе. Весь мир для него наполняется Двойниками, которых он же и осуждает (а по сути, осуждает самого себя!), здесь нет места диалогу равных. Поистине, собеседник является нам таким, каким мы его заслужили, с позиций наших собственных нравственных потенций и перспектив.

Чтобы разорвать этот порочный эгоистический круг, человек должен постоянно стремиться сформировать у себя “доминанту на лицо другого”, которая строится на активном и заинтересованном общении с другим человеком, на признании неповторимости и уникальности его личности, на видении лучших черт собеседника. Тогда впервые и появляется возможность диалога. Способность к диалогу, к пониманию другого Ухтомский считал одним из лучших проявлений человеческой природы.

Человека, говорил Ухтомский, надо уметь оценивать не со стороны его “задворков”, а со стороны “алтарей”, то есть всего лучшего, позитивного, что человек привносит и может привнести в этот мир. Для того чтобы иметь возможность оценивать людей со стороны их “алтарей”, каждый из нас должен обладать даром “творческой идеализации”, мы должны поистине “творить” своего собеседника, наделяя его всем лучшим, что мы хотим видеть в нём. Такое творческое общение, при котором человек становится открытой системой, ориентировано как на нравственное совершенствование самого человека, так и (по принципу обратной связи) на духовный рост другого участника диалога.

Ухтомский считал, что законы Двойника и Заслуженного собеседника действенны не только на уровне межличностных отношений: они определяют и уровень социального развития об-

щества. Любая социальная система, как модель этической организации общества, может быть открытой или закрытой, динамически развивающейся или застойной — всё зависит от содержания тех идеалов, которыми живёт общество, от конкретных путей их осуществления, в конечном счёте от того, что вкладывается людьми в понимание счастья, любви, возмездия и милосердия.

Потому и задачи воспитания духа, онтогенеза духа Ухтомский считал в системе передачи духовного опыта крайне важными, ибо каждый человек в конечном счёте ответственен за судьбу мира. Именно передача традиций (в самом широком смысле слова), по его мнению, является основой воспитания духовного потенциала человека. Трансмиссия культуры осуществляется, в первую очередь, посредством переданного слова, образа, в которых заключено всё выношенное человечеством знание о мире. Ухтомский говорил, что история никогда не бывает только прошлым — она всегда направлена в будущее, в ней заложен определённый вектор развития культуры и общества в целом.

Хочется верить, что придёт время, когда мы до конца прочувствуем смысл идей Ухтомского о единой природе человека, и тогда нам откроется, что культура не может быть некой надстройкой над биологическими формами существования человека. Биология и культура суть важнейшие (и неразрывные!) корни нашего бытия. И тогда мы поймем, что нравственность, принципиально предполагающая строительство идеалов, — это не эфемерная категория, порой очень уж обременительная для современного технократического индивидуума, но естественный закон жизни человека и человеческого сообщества.

По А.А. Ухтомскому, исходная система элементов нравственности, по которым живёт человеческое общество, неписанные законы его морального общежития — это “предание отцов”, освящённое традицией духовное наследие прошлого. Но эти моральные регуляторы отношений возрождаются к жизни лишь через индивидуальное осознание каждым конкретным человеком смысла собственного существования, лишь будучи пропущены, преломлены через его собственные доминанты жизни и поведения. Значение подобных невидимых и неделимых нравственных эталонов жизни, в которых сконцентрированы искомые человечеством высшие идеалы “должного, жданного, предвидимого”, огромно — они являются двигателями его духовной эволюции.

Пути истории проходят через каждого из нас, и история развивается и обогащается через индивидуальный опыт каждого человека, через глубинное, личностное переживание и познание им Истины, Добра и Красоты. И этим А.А. Ухтомский поднимал человека до высот космического

видения, связывая духовную нравственность каждого конкретного человека со всеобщим прогрессом человечества, видя в ней основную линию его эволюционного развития. Когда идеи Ухтомского называли “небесной физиологией”, а его самого “человеком не от мира сего”, — в этом была своя правда, ибо в то время, когда рушились алтари на многострадальной земле и в душах людей, Ухтомский не переставал размышлять о высочайшем значении нравственности, о вечной и непреходящей ценности каждой человеческой жизни, о глубочайшей личной ответственности за судьбу мира.

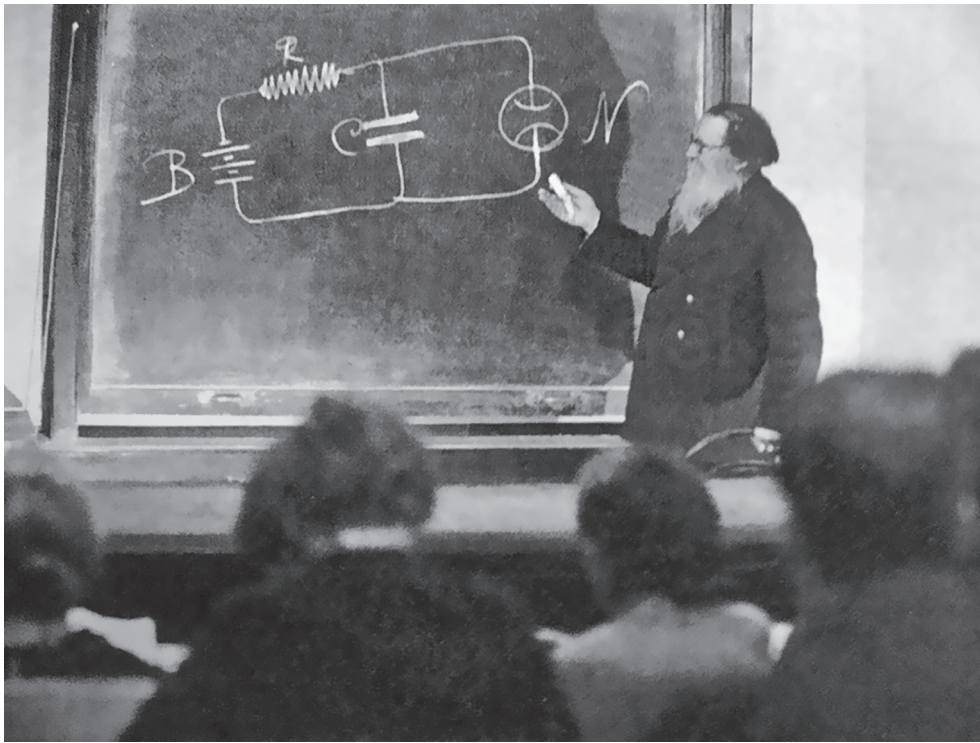
## МОНАХ В МИРУ

Судьба учения Ухтомского полна внутреннего трагизма: в отличие от прочно закрепившейся в науке павловской парадигмы в изучении поведения человека, учение Ухтомского осталось, по сути, невостребованным, да и попросту ненужным. В XX веке не нашлось места его целостному мировоззрению, основы которого корнями уходят в религиозную русскую философию. Ухтомский со своими теориями не вошёл в эпоху строительства социализма, в эпоху столкновений и противостояния всех и вся.

Обладая удивительным даром исторического предвидения, он глубоко понимал причины и следствия тех политических и социальных катастроф, которые потрясали его страну. Но в любую минуту он был и оставался истинным патриотом, веря в живительные силы русского народа. “Всецело предан я народу, — писал Ухтомский, — ибо я его частичка, в его великом море я только всплеск волны, как и все мы, идущие к великому свету, который засияет над народом, ибо выношен его поколениями и бесчисленными болезнями сердца на великом, тесном и трудном пути” [6, с. 283].

Его личная жизнь также была полна трагизма. Несмотря на, казалось бы, внешнее признание (в 1922 г. он возглавил кафедру физиологии, в 1931 г. был удостоен премии имени В.И. Ленина, в 1932 г. основал в Ленинградском университете Физиологический институт, в 1935 г. избран действительным членом АН СССР), Ухтомский в научной среде оставался очень одиозным человеком. Лишь изредка судьба дарила ему минуты живительного общения с “заслуженными собеседниками” — близкими по духу людьми, студентами. Да и то больше не на людях, а сокровенно — в письмах, которые являют собой пример удивительно высокого стиля человеческого общения, реально исповедуемой “доминанты на лицо другого”.

В 1928 г. в письме к своей ученице Е.И. Бронштейн-Шур Ухтомский напишет: “Если у меня в



А.А. Ухтомский читает лекцию студентам Ленинградского университета. 1934 г.

жизни было и есть что-то хорошее для встречаемых людей, то это хорошее, по-видимому, в том, что я глубоко и до конца верю в великий смысл жизни и в людей; и в том, что я соблюл в себе благоговение к человеческому лицу, которое выше всего и неповторимо, а обязательства перед ним вечны. Всё остальное для него, т.е. чтобы жив был возлюбленный человек, — чтобы поднимался, расцветал, бодрился и нёс радость в жизнь других и в бытие” [6, с. 281].

Но у университетского начальства, да и у власти в целом, был на Ухтомского свой взгляд. Ещё в 1920 г., искренне поверив в призыв к обновлению университетского образования, Ухтомский предложил ввести в программу обучения общеобразовательный (пропедевтический) курс “Введение в физиологию”, который был бы ориентирован на студентов различных факультетов и отражал главную идею — необходимости интеграции гуманитарных и естественно-научных знаний в общем процессе познания природы и человека. В центре его внимания — человек во всей сложности начал, определяющих его природу, — от биологических предпосылок поведения и психики до социокультурных детерминант жизнедеятельности. Итоговым же аккордом курса должна была стать глава о человеческой личности, раскрывающая естественные корни духовной и социальной жизни человека и представляющая “доминанту на лицо другого” как основу нравственного пове-

дения человека, как его высшую, биологически оправданную (“естественную”) потребность, определяющую и прогноз развития общества. Но этот курс Ухтомскому так и не удалось воплотить в жизнь: он был запрещён руководством университета как вредный, уводящий студентов от решения конкретных, практических задач строительства “светлого социалистического будущего”.

Осенью 1920 г. Ухтомский был арестован в родном ему Рыбинске, препровождён в Ярославль, где только чудом избежал расстрела, а затем в Москву, в особое отделение ВЧК на Лубянке [7]. Причина ареста — обвинения в организации контрреволюционного союза. Лишь в начале 1921 г. его освободили за недоказанностью вины. В мае 1923 г. Ухтомский был арестован вторично, уже Петроградской ЧК. На сей раз причиной ареста явилось “сопротивление изъятию церковных ценностей” (Ухтомский много лет был старостой Никольской единоверческой церкви в Петербурге).

Аресты Ухтомского повлекли за собой и рассмотрение в руководящих кругах вопроса о дальнейшем пребывании его в стенах университета. Его оставили там, но со многими оговорками, и клеймо “политически неблагонадёжного профессора” прочно закрепилось за ним. “Небесная физиология” — да, именно так, свысока, насмешливо и пренебрежительно порой отзывались представители клановой науки об учении Ухтомского, тем самым намеренно предавая забвению всё то



ценное, что было заложено им в фундамент комплексной науки о человеке.

1942 год стал последним в жизни выдающегося учёного. Когда началась Великая Отечественная война и возникла опасность блокады Ленинграда, Ухтомский не единожды отказывался от эвакуации. Он продолжал свою работу и в осаждённом городе, руководя важнейшими исследованиями оборонного значения, связанными с проблемами патогенеза и терапии шоковых состояний, поиском стимуляторов, с выбором оптимальных мер по устранению повреждений нервной системы, заживлению ран и ожогов. Активно переписывался он и со своими учениками, ушедшими на фронт или отправленными в эвакуацию.

Ухтомский умер в одиночестве 31 августа 1942 г. В его похоронах на знаменитых «Литераторских мостках» Волковского кладбища, где пятью годами раньше он выступал на открытии памятника на могиле И.П. Павлова, участвовала небольшая группа коллег — физиологов и биологов. Дихотомия жизненных и творческих путей И.П. Павлова и А.А. Ухтомского, двух действительно крупных русских учёных, стала своеобразным символом эпохи.

Сегодня с очевидностью становится неоспоримым вклад, который внёс А.А. Ухтомский в развитие физиологической научной школы Санкт-Петербургского университета [8], в постановку и решение научных проблем, касающихся комплексного изучения человека [9]. Новому поколению исследователей ещё предстоит открыть для себя Ухтомского, в том числе и в духовном плане. Его творческое наследие несёт в себе огромный интеллектуальный и нравственный потенциал, живительную «мысль сердца» — главный источник личного духовного роста. Это ощу-

щали те, кому выпало счастье лично знать замечательного учёного [10, 11]. Не менее благодарные чувства испытывают и те, кто уже в наши дни соприкоснулся с его наследием, с его бесценным даром живого собеседования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ухтомский А.А.* Заслуженный собеседник: Этика. Религия. Наука. Рыбинск: Рыбинское подворье, 1997.
2. *Зинченко В.П.* Гипотеза о происхождении учения А.А. Ухтомского о доминанте // *Человек*. 2000. № 3. С. 5–20.
3. *Хоружий С.С.* Очерки синергийной антропологии. М.: Институт философии, теологии и истории св. Фомы, 2005.
4. *Ухтомский А.А.* Собрание сочинений. В 6 т. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1950–1962.
5. *Ухтомский А.А.* Статьи и выступления разных лет. Заметки на полях. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2015.
6. *Ухтомский А.А.* Интуиция совести: Письма. Записные книжки. Заметки на полях. СПб.: Советский писатель, 1996.
7. *Меркулов В.Л.* Алексей Алексеевич Ухтомский: Очерк жизни и научной деятельности (1875–1942). М.; Л.: Наука, 1960.
8. *Ноздрачев А.Д., Лапицкий В.П.* Феномен истории естествознания. Кафедра общей физиологии Санкт-Петербургского университета. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006.
9. *Соколова Л.В.* А.А. Ухтомский и комплексная наука о человеке. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010.
10. *А.А. Ухтомский в воспоминаниях и письмах* / Сост. Ф.П. Некрылов. Под ред. А.С. Батуева и Л.В. Соколовой. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1992.
11. *Аршавский И.А.* Мы все равноправны друг перед другом. Воспоминания об А.А. Ухтомском. Смысл и судьба доминанты нравственности. Рига: Педагогический центр «Эксперимент», 2002.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ОТДЕЛ

ПРЕЗИДИУМ РАН РЕШИЛ

• О деятельности Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований и Комиссии РАН по борьбе с лженаукой

Заслушав и обсудив отчёты председателя Комиссии РАН по борьбе с лженаукой академика РАН **Е.Б. Александрова** и председателя Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований академика РАН **В.А. Васильева** о работе комиссий в 2019 г., президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять к сведению информацию о проделанной работе Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований и Комиссии РАН по борьбе с лженаукой.

Признать деятельность Комиссии РАН по борьбе с лженаукой и Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований полезной.

Отметить факт превышения Комиссией РАН по противодействию фальсификации научных исследований полномочий при публикации доклада о нарушениях научной этики кандидатов в академики РАН и члены-корреспонденты РАН, который до обсуждения с отделениями РАН должен был оставаться документом для внутреннего пользования.

2. Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований продолжить работу по выявлению нарушений норм научной этики и искажений научных результатов при их публичной презентации (академик РАН **В.А. Васильев**).

3. Комиссии РАН по борьбе с лженаукой продолжить работу по повышению эффективности противодействия лженаучной деятельности, распространению лженаучных воззрений (академик РАН **Е.Б. Александров**).

4. Председателю Комиссии РАН по противодействию фальсификации научных исследований академику РАН **В.А. Васильеву** до 20 марта 2020 г. представить в установленном порядке предложения: по изменению пунктов Положения о комиссии, касающихся вопросов, которые требуют обязательного согласования с президиумом РАН, президентом РАН и отделениями РАН; по обновлению состава комиссии.

5. Отделениям РАН до 2 марта 2020 г. представить в Комиссию РАН по противодействию фальсификации научных исследований предложения о включении членов РАН и профессоров РАН в состав этой комиссии для обеспече-

ния её более эффективного взаимодействия с отделениями РАН.

6. Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на вице-президента РАН академика РАН **А.Р. Хохлова**.

• О сроках полномочий главных редакторов научных журналов РАН

С целью улучшения научно-методического руководства научными журналами РАН и повышения их качества президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Считать необходимым по истечении пятилетнего срока полномочий главного редактора научного журнала РАН заслушивать его отчёт и проект программы развития журнала на заседании бюро отделения РАН, соответствующего научному направлению журнала.

2. Установить, что по итогам отчёта главного редактора научного журнала РАН отделение РАН может рекомендовать продлить его полномочия либо прекратить их с учётом того, что одно и то же лицо может быть рекомендовано на должность главного редактора научного журнала РАН, как правило, не более двух сроков подряд. В случае стабильного роста качества научного журнала РАН в течение двух сроков подряд, когда главный редактор журнала РАН занимал свою должность, он может быть рекомендован на третий срок. В случае резкого ухудшения качества научного журнала РАН бюро отделения РАН обязано рассмотреть вопрос о досрочном прекращении полномочий его главного редактора.

3. Поручить Научно-издательскому совету РАН до 5 марта 2020 г. разработать и согласовать механизм и критерии досрочного прекращения либо продления срока полномочий главного редактора научного журнала РАН в зависимости от изменения качества возглавляемого им научного журнала РАН, а также разработать и внести соответствующие изменения в договор соучредителей научного журнала РАН и в договор с его главным редактором.

• О создании Координационного совета по вопросам содействия реализации комплексных программ и приоритетных проектов в рамках Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Российской академией наук и Национальной академией наук Беларуси

Заслушав и обсудив сообщение академика РАН **В.П. Чехонина**, президиум РАН отмечает важность выполнения Плана основных мероприятий по реализации Соглашения о научно-техни-

ческом сотрудничестве между Российской академией наук и Национальной академией наук Беларуси от 18 июля 2019 г., подписанного в рамках проведения VI Форума регионов России и Беларуси в г. Санкт-Петербурге. Президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Принять к сведению сообщение вице-президента РАН академика РАН **В.П. Чехонина** о создании Координационного совета по вопросам содействия реализации комплексных программ и приоритетных проектов (далее – Координационный совет) в интересах выполнения Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Российской академией наук и Национальной академией наук Беларуси для развития научно-технического сотрудничества в рамках Союзного государства России и Беларуси.

2. Поручить вице-президенту РАН академику РАН **В.П. Чехонину** принять участие в подготовке плана мероприятий по созданию Координационного совета и формированию необходимого для этого пакета документов.

3. Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на вице-президента РАН академика РАН **В.П. Чехонина**.

• **О согласовании кандидатур на должность руководителей научных организаций**

В соответствии с Федеральным законом от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” и постановлением Правительства РФ от 5 июня 2014 г. № 521 “Об утверждении Положения о порядке и сроках согласования и утверждения кандидатур на должность руководителя научной организации, находившейся в ведении Федерального агентства научных организаций” президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Согласиться со следующими кандидатурами на должность руководителей научных организаций, находившихся в ведении Федерального агентства научных организаций: кандидат физико-математических наук **А.С. Богомолов**, доктор технических наук **В.А. Кушников**, кандидат технических наук **Д.С. Фоминых** (Саратовский научный центр РАН); кандидат геолого-минералогических наук **Т.С. Зайцева**, член-корреспондент РАН **А.Б. Кузнецов**, доктор геолого-минералогических наук **С.Г. Скублов** (Институт геологии и геохронологии докембрия РАН); доктор физико-математических наук **Е.В. Ерманык**, кандидат физико-математических наук **Э.Р. Прууэл**, доктор физико-математических наук **Е.М. Рудой** (Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН); кандидат сельскохозяйственных наук **А.А. Новиков**, доктор технических наук **А.Е. Новиков**, кандидат сельскохозяйственных наук

**К.А. Родин** (Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия); кандидат сельскохозяйственных наук **О.А. Дахно**, кандидат сельскохозяйственных наук **О.И. Хасбиуллина** (Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства); кандидат географических наук **К.С. Ганзей**, доктор географических наук **В.В. Шамо** (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН); член-корреспондент РАН **И.В. Дюйзен**, кандидат биологических наук **В.С. Одинцов**, член-корреспондент РАН **В.В. Юшин** (Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН); доктор сельскохозяйственных наук **М.Р. Бейбулатов**, доктор сельскохозяйственных наук **В.В. Лиховской**, кандидат технических наук **А.В. Сильвестров** (Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия “Магарач” РАН).

2. Не согласиться с кандидатурой на должность директора ФГБУ науки Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН доктора биологических наук **К.С. Голохваста**.

• **О согласовании кандидатуры академика РАН В.О. Попова на должность научного руководителя Федерального государственного учреждения Федеральный исследовательский центр “Фундаментальные основы биотехнологии” РАН**

В соответствии с Правилами взаимодействия ФГБУ “Российская академия наук” и Министерства науки и высшего образования РФ при осуществлении ими отдельных полномочий в соответствии с Федеральным законом “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”, утверждёнными постановлением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2018 г. № 1652, президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

Согласиться с кандидатурой академика РАН **В.О. Попова** на должность научного руководителя Федерального государственного учреждения Федеральный исследовательский центр “Фундаментальные основы биотехнологии” РАН.

• **О согласовании кандидатуры академика РАН Ф.В. Гречникова на должность руководителя Представительства ФГБУ “Российская академия наук” на территории Самарской области**

Президиум РАН ПОСТАНОВЛЯЕТ:

В соответствии с подпунктом “д” пункта 72 устава РАН и постановлением Общего собрания членов РАН от 13 ноября 2019 г. № 31 «Об открытии Представительства федерального государственного бюджетного учреждения “Российская академия наук” на территории Самарской области» согласовать кандидатуру академика РАН **Ф.В. Гречникова** для назначения на должность

руководителя Представительства ФГБУ “Российская академия наук” на территории Самарской области.

• **Утвердить Положение о Научном совете РАН по комплексным проблемам евразийской экономической интеграции, модернизации, конкурентоспособности и устойчивому развитию и его состав.**

#### **1. Общие положения**

1.1. Научный совет РАН по комплексным проблемам евразийской экономической интеграции, модернизации, конкурентоспособности и устойчивому развитию (далее — совет) создан при президиуме РАН с целью содействия РАН в реализации задач, возложенных на него Федеральным законом от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” и уставом РАН, утверждённым постановлением Правительства РФ от 27 июня 2014 г. № 589.

1.2. Совет является научно-консультативным, экспертным органом РАН.

1.3. Деятельность совета осуществляется во взаимодействии с отделениями РАН по областям и направлениям науки, региональными отделениями РАН, структурными подразделениями аппарата президиума РАН, а также в информационном сотрудничестве с органами государственной власти, научными организациями и образовательными организациями высшего образования Российской Федерации независимо от их ведомственной принадлежности, иными заинтересованными организациями.

1.4. Совет в своей деятельности руководствуется Конституцией Российской Федерации, законодательством Российской Федерации, уставом РАН, постановлениями Общего собрания членов РАН, постановлениями президиума РАН, распоряжениями РАН за подписью президента РАН и настоящим Положением.

#### **2. Порядок создания совета**

2.1. Совет состоит при президиуме РАН.

2.2. Решение о создании совета принимается президиумом РАН.

2.3. Председатель совета утверждается постановлением президиума РАН.

2.4. Положение о совете, его состав и структура, а также вносимые в Положение о совете и его состав изменения и дополнения утверждаются постановлением президиума РАН.

#### **3. Направления деятельности совета**

Основными направлениями деятельности совета являются:

3.1. участие в анализе и экспертизе современного состояния экономической интеграции, модер-

низации, конкурентоспособности и устойчивого развития Российской Федерации и государств — участников Евразийского экономического союза (далее — ЕАЭС);

3.2. участие в анализе социальных, технологических, экономических, экологических и политических аспектов развития единого экономического пространства и подготовка рекомендаций в области создания институциональных механизмов формирования ЕАЭС;

3.3. участие в анализе состояния научных исследований в Российской Федерации и в странах ЕАЭС, определение наиболее перспективных направлений научных исследований в области экономического прогнозирования, стратегического планирования и технологической модернизации;

3.4. участие в организации совместных исследований, связанных с разработкой и реализацией межгосударственных целевых программ и инновационных проектов;

3.5. изучение закономерностей долгосрочного экономического развития и их влияния на процессы региональной экономической интеграции стран ЕАЭС;

3.6. обсуждение проблем и выработка предложений по решению актуальных проблем в области экономической интеграции, модернизации, конкурентоспособности и устойчивого развития;

3.7. выработка предложений и рекомендаций по стратегии формирования единого научно-технологического пространства;

3.8. выработка предложений по экономической безопасности России в рамках Единого экономического пространства в условиях глобальной нестабильности;

3.9. мониторинг и выработка предложений по гармонизации законодательств государств — членов ЕАЭС и участников СНГ, участие в разработке модельных законодательных актов, а также анализ нормативно-правовой базы и правоприменительной практики евразийской интеграции;

3.10. содействие развитию гуманитарного сотрудничества и деятельности российских и зарубежных научных и благотворительных фондов, других некоммерческих организаций, способствующих финансовой и иной поддержке научных исследований, подготовке кадров и повышению квалификации специалистов в области евразийской экономической интеграции;

3.11. участие в организации национальных и международных научных конференций, симпозиумов, семинаров и школ по проблемным вопросам экономической интеграции;

3.12. анализ проектов федеральных законов, указов Президента Российской Федерации и постановлений Правительства Российской Федерации, международных договоров Российской Фе-

дерации, иных нормативных правовых актов по вопросам, входящим в компетенцию совета.

#### 4. Состав и структура совета

4.1. Совет состоит из председателя, заместителей председателя, учёного секретаря, ответственного секретаря, членов бюро совета и членов совета.

4.2. Членами совета могут быть члены РАН, профессора РАН, работники аппарата президиума РАН, а также по согласованию ведущие учёные и представители научных организаций и образовательных организаций высшего образования, научных центров, научных и научно-технических обществ, институтов развития, органов государственной власти и других организаций, участвующих в научных исследованиях по направлениям деятельности совета. К деятельности совета могут привлекаться также зарубежные учёные.

4.3. В совете образуется бюро в составе заместителей председателя, учёного секретаря, ответственного секретаря, членов бюро совета.

4.4. В отсутствие председателя руководство советом осуществляет один из его заместителей.

4.5. Председатель совета:

4.5.1. утверждает план работы совета, повестку заседания и состав лиц, приглашаемых на заседание совета;

4.5.2. организует работу совета и председательствует на заседаниях;

4.5.3. подписывает протоколы заседаний и другие документы совета;

4.5.4. обеспечивает коллективное обсуждение вопросов, внесённых на рассмотрение совета;

4.5.5. формирует отчёт о проделанной работе и наиболее важных результатах, полученных в рамках деятельности совета;

4.5.6. распределяет обязанности между своими заместителями и членами бюро совета.

4.6. Заместитель председателя совета:

4.6.1. курирует одно или несколько направлений деятельности совета;

4.6.2. участвует в подготовке планов работы совета;

4.6.3. участвует в подготовке отчёта о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности совета.

4.7. Учёный секретарь совета:

4.7.1. организационно обеспечивает работу совета, готовит рабочие материалы к заседаниям, оформляет протоколы заседаний;

4.7.2. готовит и согласовывает с председателем совета проекты документов и других материалов для обсуждения на заседаниях совета;

4.7.3. уведомляет членов совета о дате, месте и повестке предстоящего заседания;

4.7.4. рассылает членам совета проекты документов, материалы для заседаний и принятые решения совета;

4.7.5. участвует в подготовке отчёта о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности совета;

4.7.6. обеспечивает хранение документации совета.

4.8. Ответственный секретарь совета:

4.8.1. участвует в планировании и организации работы совета, включая утверждение перспективного и годового плана работы;

4.8.2. участвует в организации заседания совета, включая представление председателю совета (по представлению учёного секретаря или членов бюро совета) повестки заседания, решает другие организационные вопросы, связанные с работой совета;

4.8.3. контролирует реализацию решений совета, включая запрос у членов совета информации по вопросам реализации решений.

4.9. Члены совета:

4.9.1. руководствуются Положением о совете;

4.9.2. регулярно посещают заседания совета, назначаемые председателем совета;

4.9.3. своевременно выполняют поручения совета;

4.9.4. в целях повышения эффективности деятельности совета вносят предложения и замечания к планам его работы;

4.9.5. запрашивают информацию о рассмотрении своих предложений;

4.9.6. получают информацию о деятельности совета;

4.9.7. вносят предложения по формированию повестки дня заседаний совета;

4.9.8. по поручению председателя совета возглавляют секции, рабочие группы и комиссии (подкомиссии) совета;

4.9.9. участвуют в подготовке материалов по рассматриваемым вопросам;

4.9.10. выступают с докладами на заседаниях совета.

4.10. Обновление состава совета с учётом необходимости преемственности осуществляется не реже одного раза в пять лет.

#### 5. Порядок работы совета

5.1. Совет работает в соответствии с ежегодным планом, утверждённым его председателем.

5.2. Совет решает вопросы в пределах задач и полномочий, возложенных на него Положением о совете.

5.3. Совет для решения возложенных на него задач и осуществления функций вправе:

5.3.1. рассматривать и принимать решения по вопросам его профильной деятельности на своих заседаниях (или заседаниях бюро);

5.3.2. создавать секции и рабочие группы, комиссии (подкомиссии) для решения задач, входящих в компетенцию совета;

5.3.3. проводить плановые, внеочередные и заочные мероприятия (координационные совещания, конференции, сессии и симпозиумы) по предмету деятельности совета;

5.3.4. по согласованию с руководством РАН и руководителями научных организаций, образовательных организаций высшего образования, институтов развития и других организаций запрашивать материалы по вопросам, относящимся к деятельности совета;

5.3.5. приглашать на свои заседания с правом совещательного голоса членов РАН, работников аппарата президиума РАН, ведущих российских учёных по профилю и тематической направленности деятельности совета, представителей заинтересованных организаций, представителей органов государственной власти и др.;

5.3.6. готовить и при необходимости выносить на обсуждение президиума РАН вопросы по профилю деятельности совета.

5.4. Заседания совета созываются по решению председателя совета по мере необходимости.

5.5. В перерывах между заседаниями совета оперативную работу может осуществлять бюро совета, которое правомочно принимать решения с последующим их утверждением на заседаниях совета. Заседания бюро проводятся по мере необходимости. Решения бюро совета принимаются простым большинством голосов присутствующих на заседании членов Бюро Совета открытым голосованием и оформляются протоколом заседания за подписью председателя и учёного секретаря совета.

5.6. Совет правомочен принимать решения по рассматриваемым вопросам, если на заседании присутствует не менее половины его списочного состава.

5.7. Решения совета принимаются простым большинством голосов присутствующих на заседании, оформляются протоколом за подписью председателя и учёного секретаря совета.

5.8. Решения совета носят рекомендательный характер.

5.9. Члены совета могут квалифицированным большинством голосов принять решение о проведении тайного голосования по любому обсуждаемому ими вопросу.

5.10. Председатель совета ежегодно представляет отчёт о проделанной работе и наиболее зна-

чимых результатах, полученных в рамках деятельности совета, для утверждения на заседании совета и не позднее 1 марта следующего за отчётным годом направляет утверждённый отчёт в Научно-организационное управление РАН.

5.11. Совет может иметь адрес в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, ссылка на который размещается на официальном сайте РАН.

## 6. Заключительное положение

Совет может быть реорганизован или ликвидирован постановлением президиума РАН.

### Состав совета

*Бюро совета:* академик РАН **С.Ю. Глазьев** — председатель; доктор экономических наук **А.И. Агеев** (Институт экономических стратегий РАН, заместитель председателя, по согласованию); академик РАН **Ю.В. Гуляев** — заместитель председателя; член-корреспондент РАН **В.В. Иванов** — заместитель председателя; член-корреспондент РАН **О.С. Сироткин** — заместитель председателя; кандидат экономических наук **Е.А. Наумов** (Научно-образовательный центр евразийской экономической интеграции и развития Государственного университета управления, учёный секретарь, по согласованию); кандидат экономических наук **Д.А. Митяев** (Евразийская экономическая комиссия, ответственный секретарь, по согласованию); академик РАН **Ю.Ю. Балега**; **К.М. Барский** (Министерство иностранных дел Российской Федерации, по согласованию); член-корреспондент РАН **В.Е. Дементьев**; доктор экономических наук **М.В. Ершов** (Финансовый университет при Правительстве РФ, по согласованию); член-корреспондент РАН **А.В. Кузнецов**; академик РАН **Ю.Ф. Лачуга**; доктор социологических наук **Л.А. Лозбенко** (Общероссийская общественная организация малого и среднего предпринимательства “Опора России”, по согласованию); академик РАН **В.И. Маевский**; академик РАН **В.Н. Пармон**; академик РАН **Б.Н. Порфирьев**; доктор экономических наук **В.М. Симчера** (Финансовый университет при Правительстве РФ, по согласованию); доктор экономических наук **В.Н. Ремыга** (Международный стратегический инновационно-технологический альянс, по согласованию); доктор экономических наук **А.А. Широков** (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, по согласованию).

*Члены совета:* академик РАН **Б.С. Алёшин**; доктор экономических наук **М.С. Айрапетян** (Государственный университет управления, по согласованию); кандидат технических наук **А.Е. Арменский** (Информационно-аналитический центр “Наука” РАН); кандидат экономических наук **В.М. Бондаренко** (Международный фонд им. Н.Д. Кондратьева при Отделении общественных наук РАН); доктор экономических наук



**А.Е. Варшавский** (Центральный экономико-математический институт РАН, по согласованию); кандидат филологических наук **В.И. Герасимов** (Институт научной информации по общественным наукам РАН, по согласованию); академик РАН **А.О. Глико**; академик РАН **А.Н. Дмитриевский**; доктор экономических наук **Д.Н. Земляков** (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, по согласованию); доктор экономических наук **Н.С. Зиядуллаев** (Институт экономики РАН, по согласованию); доктор экономических наук **А.Н. Козырев** (Центральный экономико-математический институт РАН, по согласованию); академик РАН **С.И. Колесников**; доктор технических наук **К.К. Колин** (Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра РАН, по согласованию); доктор экономических наук **Н.И. Комков** (Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, по согласованию); академик РАН **В.А. Крюков**; доктор геолого-минералогических наук **О.Л. Кузнецов** (общероссийская общественная организация “Российская академия естественных наук”, по согласованию); доктор экономических наук **О.В. Кузнецова** (Институт системного анализа РАН, по согласованию); доктор экономических наук **В.Н. Лившиц** (Институт системного анализа РАН, по согласованию); **В.Я. Литвинцев** (Комитет Совета Федерации Федерального Собрания РФ по обороне и безопасности, по согласованию); доктор исторических наук **С.Г. Лузянин** (Институт Дальнего Востока РАН, по согласованию); **Д.В. Любомудров** (Комитет по инновационной политике Торгово-промышленной палаты Российской Федерации, по согласованию); доктор экономических наук **О.Е. Медведева** (Государственный университет управления, по согласованию); кандидат технических наук **Г.И. Микерин** (Центральный экономико-математический институт РАН, по согласованию); **Г.Л. Мурадов** — заместитель Председателя Совета министров Республики Крым — Постоянный представитель Республики Крым при Президенте РФ (по согласованию); доктор политических наук **В.Д. Нечаев** (Севастопольский государственный университет, по согласованию); доктор технических наук **А.В. Путилов** (Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, по согласованию); доктор экономических наук **Д.А. Рубвальтер** (Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы, по согласованию); кандидат технических наук, кандидат биологических наук **С.И. Рубцова** (Институт природно-технических систем, по согласованию); кандидат социологических наук **М.С. Савин** (Институт социально-политических исследований РАН, по согласованию); доктор экономических наук **В.Ю. Саламатов** (Центр международной торговли, по согласованию); доктор экономических на-

ук **С.Н. Сильвестров** (Финансовый университет при Правительстве РФ, по согласованию); кандидат технических наук **И.Н. Стаценко** (Институт природно-технических систем, по согласованию); кандидат экономических наук **А.Н. Степанова** (Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, по согласованию); **Р.И. Темиргалиев** (Российско-китайский инвестиционный фонд регионального развития, по согласованию); кандидат химических наук **О.В. Толстикова** (Информационно-аналитический центр “Наука” РАН); член-корреспондент РАН **Г.Г. Фетисов**; доктор экономических наук **А.С. Щенков** (Российско-китайский финансово-экономический центр при Финансовом университете при Правительстве РФ, по согласованию); **В.Я. Юртеев** (некоммерческое партнерство “Национальная технологическая палата”, общероссийская общественная организация “Российский союз промышленников и предпринимателей”, по согласованию); доктор экономических наук **Ю.В. Яковец** (автономная некоммерческая организация “Международный институт Питирима Сорокина — Николая Кондратьева”, по согласованию).

*Иностранные члены совета:* академик **С.Б. Алиев** (Национальная академия наук Республики Казахстан, по согласованию); доктор технических наук **С.Г. Арутюнян** (Государственный комитет по науке Министерства образования и науки Республики Армения, по согласованию); академик **П.А. Витязь** (Национальная академия наук Беларуси, Республика Беларусь, по согласованию); доктор экономических наук **Ван Вен** (Институт финансовых исследований Народного университета Китая, Китайская Народная Республика, по согласованию); доктор технических наук **И.В. Войтов** (Белорусский государственный технологический университет Республики Беларусь, по согласованию); член-корреспондент **А.Р. Дарбинян** (Национальная академия наук Республики Армения, по согласованию); член-корреспондент **А.Е. Дайнеко** (Национальная академия наук Беларуси, Республика Беларусь, по согласованию); **С.Е. Костанян** — Чрезвычайный и полномочный посол Республики Армения (по согласованию); кандидат технических наук **Н.Т. Мамбеталиев** (Евразийская экономическая комиссия, Республика Кыргызстан, по согласованию); академик **П.Г. Никитенко** (Национальная академия наук Беларуси, Республика Беларусь, по согласованию); академик **М.И. Илолов** (Академия наук Республики Таджикистан, по согласованию); кандидат экономических наук **Р.К. Петросян** (Евразийская экономическая комиссия, Республика Армения, по согласованию); доктор экономических наук **О.С. Сабден** (Институт экономики Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, по согласованию);

доктор экономических наук **М.Н. Сарыбеков** (Таразский государственный университет, Республика Казахстан, по согласованию); доктор экономических наук **Н.А. Сатыбалдин** (Институт экономики, Республика Казахстан, по согласованию).

- Установить, что размер премии РАН за лучшие работы по популяризации науки, начиная с премии, объявленной по конкурсу 2019 г., составляет 100 000 рублей в каждой из объявленных номинаций: “Лучшая научно-популярная книга”, “Лучшая журналистская работа по популяризации науки” и “Лучшее научно-популярное видео”.

- Присудить премию РАН за лучшие работы по популяризации науки 2019 года:

в номинации “Лучшая научно-популярная книга” — кандидату биологических наук **С.В. Дробышевскому** (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова) за книгу “Байки из грота: 50 историй из жизни древних людей”;

в номинации “Лучшая журналистская работа по популяризации науки” — кандидату биологических наук **О.В. Волковой**, кандидату биологических наук **А.В. Панову**, **О.А. Стариковской** (Научно-популярный портал “Биомолекула”) за цикл научно-популярных статей “Методы молекулярной биологии”;

в номинации “Лучшее научно-популярное видео” — **А.А. Тмур** (Автономная некоммерческая организация “Лаборатория просветительских проектов”) и **Е.В. Быковскому** (Научно-популярный портал “Чердак”) за короткометражный документальный фильм “Жизнь подо льдом”.

- Считать утратившим силу постановление президиума РАН от 14 апреля 2015 г. № 69 “О составе Экспертной комиссии по премии Российской академии наук за лучшие работы по популяризации науки и установлении размера премии”.

- Учредить золотую медаль имени Г.И. Будкера, присуждаемую РАН российским и зарубежным учёным за выдающиеся работы в области физики ускорителей, включая методы встречных пучков и охлаждения тяжёлых ионов.

Установить 2023 год первым годом присуждения золотой медали имени Г.И. Будкера, присуждение медали приурочить ко дню рождения Академика **Г.И. Будкера** — 1 мая 1918 г.

Утвердить академика РАН **А.Н. Скринского** председателем Экспертной комиссии по золотой медали им. Г.И. Будкера.

Поручить Отделению физических наук РАН в трёхмесячный срок подготовить необходимые материалы по золотой медали им. Г.И. Будкера для утверждения в установленном порядке.

Внести соответствующее изменение в приложение к Положению о золотых медалях и премиях имени выдающихся учёных, присуждаемым Российской академией наук (утверждено постановлением президиума РАН от 8 июня 1993 г. № 119).

Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН **Н.К. Долгушкина**.

- Учредить золотую медаль имени Л.В. Келдыша, присуждаемую РАН российским учёным за выдающиеся работы в области физики конденсированного состояния.

Установить 2021 год первым годом присуждения золотой медали им. Л.В. Келдыша, присуждение медали приурочить ко дню рождения академика РАН **Л.В. Келдыша** — 7 апреля 1931 г.

Утвердить академика РАН **С.М. Стишова** председателем Экспертной комиссии по золотой медали им. Л.В. Келдыша.

Поручить Отделению физических наук РАН в трёхмесячный срок подготовить необходимые материалы по золотой медали им. Л.В. Келдыша для утверждения в установленном порядке.

Внести соответствующее изменение в приложение к Положению о золотых медалях и премиях имени выдающихся учёных, присуждаемым Российской академией наук (утверждено постановлением президиума РАН от 8 июня 1993 г. № 119).

Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН **Н.К. Долгушкина**.

- Учредить премию имени Н.В. Рудницкого, присуждаемую РАН за выдающиеся работы в области селекции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур для условий северного земледелия.

Поручить Отделению сельскохозяйственных наук РАН в трёхмесячный срок:

определить первый год присуждения премии им. Н.В. Рудницкого;

подготовить предложения о составе Экспертной комиссии и необходимые материалы по премии им. Н.В. Рудницкого для утверждения в установленном порядке.

Внести соответствующее изменение в приложение к Положению о золотых медалях и премиях имени выдающихся учёных, присуждаемым Российской академией наук (утверждено постановлением президиума РАН от 8 июня 1993 г. № 119).

Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на главного учёного секретаря

ря президиума РАН академика РАН **Н.К. Долгуш-кина**.

- Учредить премию имени М.И. Хаджинова, присуждаемую РАН за выдающиеся работы в области генетики, селекции и семеноводства кукурузы.

Поручить Отделению сельскохозяйственных наук РАН в трёхмесячный срок:

- определить первый год присуждения премии им. М.И. Хаджинова;

- подготовить предложения о составе Экспертной комиссии и необходимые материалы по премии им. М.И. Хаджинова для утверждения в установленном порядке.

Внести соответствующее изменение в приложение к Положению о золотых медалях и премиях имени выдающихся учёных, присуждаемым Российской академией наук (утверждено постановлением президиума РАН от 8 июня 1993 г. № 119).

Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН **Н.К. Долгуш-кина**.

- Учредить премию имени Л.К. Эрнста, присуждаемую РАН за выдающиеся работы в области племенного дела, генетики и селекции сельскохозяйственных животных.

Поручить Отделению сельскохозяйственных наук РАН в трёхмесячный срок:

- определить первый год присуждения премии имени Л.К. Эрнста;

- подготовить предложения о составе Экспертной комиссии и необходимые материалы по премии им. Л.К. Эрнста для утверждения в установленном порядке.

Внести соответствующее изменение в приложение к Положению о золотых медалях и премиях имени выдающихся учёных, присуждаемым Российской академией наук (утверждено постановлением президиума РАН от 8 июня 1993 г. № 119).

Контроль за выполнением настоящего постановления возложить на главного учёного секретаря президиума РАН академика РАН **Н.К. Долгуш-кина**.