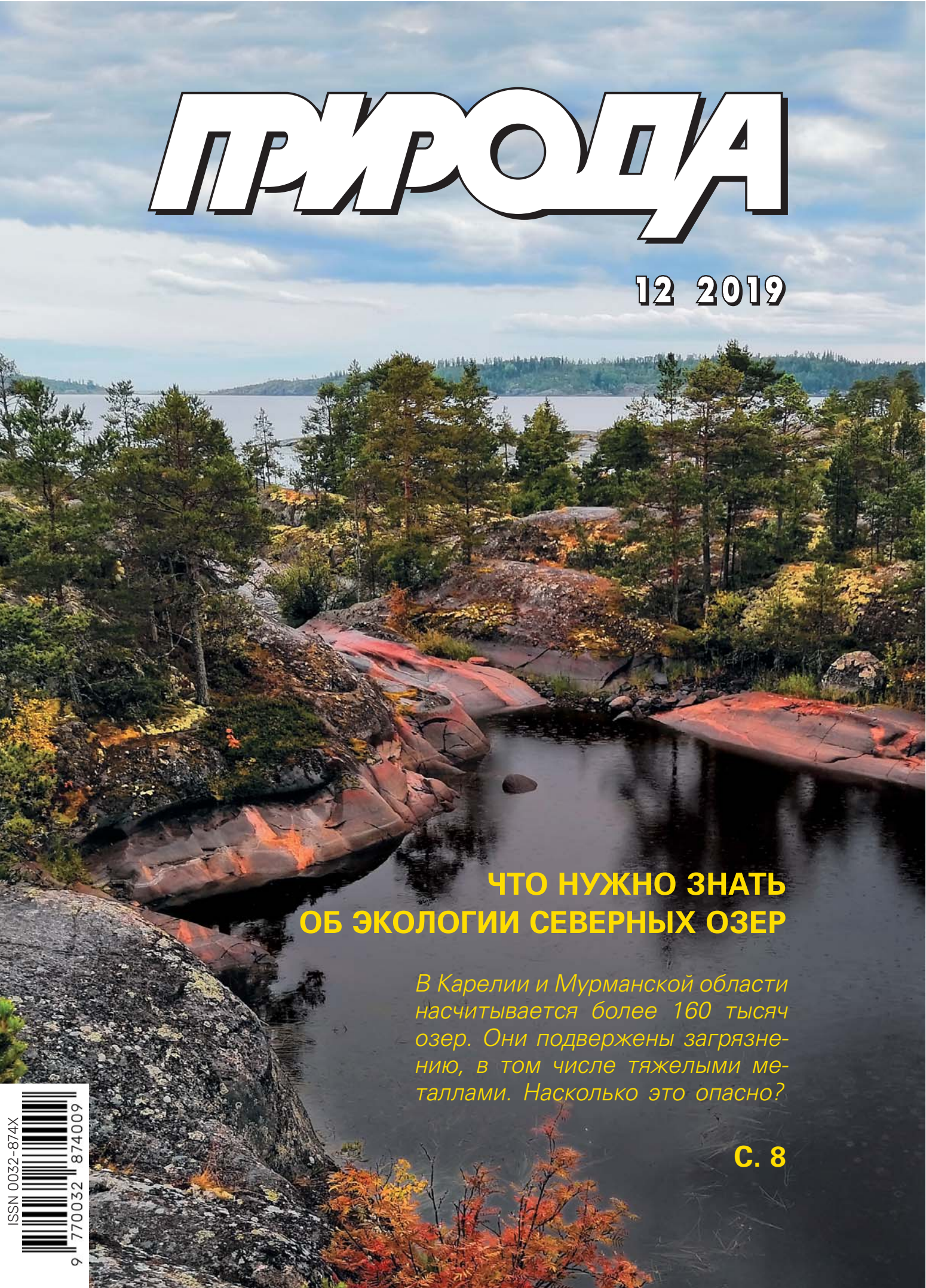
ПРИРОДА

12 2019



ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ ОБ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРНЫХ ОЗЕР

В Карелии и Мурманской области насчитывается более 160 тысяч озер. Они подвержены загрязнению, в том числе тяжелыми металлами. Насколько это опасно?

С. 8

ISSN 0032-874X
9 770032 874009

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Издается с января 1912 года

Главный редактор
академик, доктор физико-математических наук **А.Ф.Андреев**

Заместитель главного редактора
доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**

доктор биологических наук **А.С.Апт**, доктор геолого-минералогических наук **А.А.Арискин**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **П.И.Арсеев**, **О.О.Астахова**, доктор биологических наук **Ф.И.Атауллаханов**, член-корреспондент, доктор юридических наук **Ю.М.Батурин**, доктор биологических наук **Д.И.Берман**, доктор биологических наук **П.М.Бородин**, **М.Б.Бурзин**, доктор физико-математических наук **А.Н.Васильев**, член-корреспондент, доктор филологических наук **В.И.Васильев**, кандидат биологических наук **М.Н.Воронцова**, доктор физико-математических наук **Д.З.Вибе**, кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук **М.С.Гельфанд**, академик, доктор физико-математических наук **С.С.Герштейн**, профессор **А.Глухов** (**A.Glukhov**, США), академик, доктор физико-математических наук **Г.С.Голицын**, доктор химических наук **И.С.Дмитриев**, кандидат биологических наук **С.В.Дробышевский**, академик, доктор физико-математических наук **Л.М.Зеленый**, академик, доктор биологических наук **Н.А.Зиновьева**, академик, доктор биологических наук **А.Л.Иванов**, профессор **Т.Йованович** (**T.Jovanović**, Сербия), доктор биологических наук **С.Л.Киселев**, кандидат географических наук **Т.С.Клювиткина**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **М.В.Ковальчук**, доктор биологических наук **С.С.Колесников**, **Е.А.Кудряшова**, профессор **Е.Кунин** (**E.Koonin**, США), доктор геолого-минералогических наук **А.Ю.Леин**, член-корреспондент, доктор биологических наук **В.В.Малахов**, профессор **Ш.Миталипов** (**Sh.Mitalipov**, США), доктор геолого-минералогических наук **Т.К.Пинегина**, доктор сельскохозяйственных наук **Ю.В.Плугатарь**, доктор физико-математических наук **М.В.Родкин**, академик, доктор биологических наук **Л.В.Розенштраух**, кандидат географических наук **Ф.А.Романенко**, академик, доктор физико-математических наук **А.Ю.Румянцев**, член-корреспондент, доктор биологических наук **Н.И.Санжарова**, доктор физико-математических наук **Д.Д.Соколов**, кандидат физико-математических наук **К.Л.Сорокина**, кандидат исторических наук **М.Ю.Сорокина**, **Н.В.Ульянова**, академик, доктор биологических наук **М.А.Федонкин**, академик, доктор физико-математических наук **А.Р.Хохлов**, академик, доктор физико-математических наук **А.М.Черепащук**, академик, доктор физико-математических наук **Ф.Л.Черноусько**, член-корреспондент, доктор химических наук **В.П.Шибаев**, **О.И.Шутова**, кандидат биологических наук **А.О.Якименко**

Российская Академия Наук

© Российская академия наук, журнал «Природа», 2019
© ФГУП «Издательство «Наука», 2019
© Составление. Редколлегия журнала «Природа», 2019

В НОМЕРЕ:

3 К.А.Солнцев, О.А.Банных, Ю.В.Цветков, В.М.Иевлев

Металлы будут нужны всегда!

Металлы как основа разнообразных конструкций, необходимых для производства материалов других типов, останутся незаменимыми. Речь может идти не о замене металлических материалов, а о добавлении к ним новых, которые будут обладать свойствами, коренным образом отличающимися от свойств, присущих металлам.

8 З.И.Слуковский

Опасные связи, или Что нужно знать об экологии северных озер

Малые озера подвержены загрязнению, как со стороны локальных источников, так и в результате дальнего переноса поллютантов (в том числе, тяжелых металлов) через атмосферу. Только определив формы нахождения металлов, попавших в водоем, можно с уверенностью говорить о настоящих экологических рисках, которые возникают в озерах севера России.

18 А.М.Портнов

Гамма-излучатель ^{137}Cs — экспрессный индикатор экологических катастроф

Дистанционная аэрогамма-спектрометрическая съемка на базе беспилотников способна на огромных территориях обнаружить аномалии в распределении радиоактивного ^{137}Cs, который возникает при авариях АЭС. Внутри выделенных контуров возможно накопление бета- и альфа-излучателей.

25 М.А.Орлов

Короткие тандемные повторы

Тандемные повторы — копии одного фрагмента ДНК, расположенные друг за другом, — занимают значительную часть генома человека. Зачем нужны они нашему организму, к каким последствиям приводят мутации в них и какие перспективы открывает получение таких повторов с помощью генной инженерии?

32 В.И.Прыгов, А.Ю.Беляков

Истоки, развитие и расцвет флорентийской мозаики в Западной Европе

Флорентийская, или мозаика из твердых камней (PietreDure), сформировалась к началу XVII в. Однако ее истоки восходят к античным работам с мрамором. Главным нововведением, привнесенным эпохой Ренессанса в технику мозаики, стало применение минералов, твердость которых существенно выше твердости мрамора.

41 ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

В.П.Чичагов

Александр фон Гумбольдт
К 250-летию со дня рождения и 190-летию путешествия по России

52 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2019 ГОДА

А.В.Бялко

По физике — Джеймс Пиблс, Мишель Майор и Дидье Кело

55 По химии — Джон Гуденаф, Стэнли Уиттингем, Акира Ёсино

56 О.С.Сафронова

По физиологии или медицине — Уильям Кэлин, сэр Питер Рэтклифф, Грегг Семенза

62 НОВОСТИ НАУКИ

Невидимая черная дыра обнаружена методом Нобелевских лауреатов 2019 года. **А.В.Бялко** (**62**). Корь ослабляет защиту от других инфекций (**62**). Родились первые в мире химеры свиньи и обезьяны (**63**). Золотобрюхая бобровая крыса научилась поедать жаб-ага (**65**).

66 РЕЦЕНЗИИ

С.В.Наугольных

Что нам не надо знать о пермском периоде

(на книгу: К.А.Добрянских. Пермский геологический период. Пермь великая: впечатления через край)

68 НОВЫЕ КНИГИ

71 ТЕМАТИЧЕСКИЙ И АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛИ ЗА 2019 ГОД

CONTENTS:

3 K.A.Solntsev, O.A.Bannykh, Yu.V.Tsvetkov, V.M.Ievlev

Metals Will Always Be Needed!

Metals as the basis of the various constructions necessary for the production of other types of materials will remain indispensable. We can talk not about replacing metallic materials, but about addition of the new ones that will have properties fundamentally different from those inherent in metals.

8 Z.I.Slukovskii

Dangerous Bonds or What We Need to Know About the Ecology of the Northern Lakes

Small lakes are subject to pollution, both from local sources and as a result of the long-range transport of pollutants (including heavy metals) through the atmosphere. Only after Determination the forms of metals that have fallen into the water body makes it possible to estimate the real environmental risks that arise in the lakes of northern Russia.

18 A.M.Portnov

Gamma Emitter ^{137}Cs as an Express Indicator of Environmental Disasters

Remote drone aero gammaspectrometry is necessary to establish anomalies in ^{137}Cs distribution in accidents with nuclear power plants. In the frames of such anomalies, the accumulation of beta- and alpha-emitters is possible.

25 M.A.Orlov

Short Sequence Repeats

Tandem repeats — the copies of one DNA fragment following one directly after another — make up a significant part of the human genome. Why does our body need them, what are the consequences of mutations in them, and what are the prospects for obtaining such repetitions using genetic engineering?

32 V.I.Prygov, A.Yu.Belyakov

The Origins, Development and Flourishing of the Florentine Mosaic in Western Europe

Florentine or hard stone mosaic (Pietre Dure) was formed as an independent artistic phenomenon by the beginning of the XVII century. However, its roots go back to the ancient works with different types of marble. The main innovation brought by the Renaissance to the technique of stone mosaic was the use of minerals, whose hardness significantly exceeded the hardness of marble.

41 TIMES AND PEOPLE

V.P.Chichagov

Alexander von Humboldt
To the 250th Anniversary of the Birth and the 190th Anniversary of the Expedition to Russia

52 2019 NOBEL PRIZE LAUREATES

A.V.Byalko

In Physics: James Peebles, Michel Mayor, and Didier Queloz

55 In Chemistry: John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham, and Akira Yoshino

56 O.S.Safronova

In Physiology or Medicine: William G. Kaelin, Sir Peter J. Ratcliffe, and Gregg L. Semenza

62 SCIENCE NEWS

An invisible black hole was discovered by the 2019 Nobel Laureate method. **A.V.Byalko** (**62**). Measles weakens protection against other infections (**62**). The world's first pig-monkey hybrids (**63**). Water rats in Australia learned to consume cane toads (**65**).

66 BOOK REVIEWS

S.V.Naugolnykh

What we don't need to know about the Permian period

(review of the book: K.A.Dobryanskikh. Perm Geological Period. Great Perm: Too Much Impression)

68 NEW BOOK

71 SUBJECT AND AUTHOR INDEX FOR 2019

Металлы будут нужны всегда!

К.А.Солнцев[1,2], О.А.Банных[2], Ю.В.Цветков[2], В.М.Иевлев[1]
[1]Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (Москва, Россия)
[2]Институт металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова РАН (Москва, Россия)

Цель статьи акцентировать внимание на роли металлических материалов в становлении и развитии цивилизации, и на их месте в поле основных свойств современных конструкционных материалов. Уникальное сочетание свойств (пластичности, прочности, износостойкости, термической и химической устойчивости) металлов и создаваемых на их основе конструкционных материалов обеспечивают их незаменимость в широком перечне отраслей промышленного производства. Неисчерпанный ресурс в повышении эксплуатационных характеристик традиционных материалов, например сталей, показывает необходимость развития фундаментальных и прикладных исследований в этом направлении. Отдавая должное широкому спектру других материалов (пластики, керамика, композиты), авторы обоснованно заключают: металлические материалы будут востребованы всегда.

Ключевые слова: металлы, конструкционные материалы, металлические материалы, роль в становлении и развитии цивилизации.

Домна Новолипецкого металлургического комбината.

© Солнцев К.А., Банных О.А., Цветков Ю.В., Иевлев В.М., 2019

DOI:10.7868/S0032874X19120019

Константин Александрович Солнцев, академик РАН, иностранный член Академии инженерных наук Китая, доктор химических наук, декан факультета наук о материалах Московского государственного университета (МГУ) имени М.В.Ломоносова, заведующий лабораторией новых технологий металлических и керамических материалов и научный руководитель Института металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова РАН. Лауреат Государственной премии РФ (1996), кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2010).
e-mail: solntsev@pran.ru

Олег Александрович Банных, академик РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории конструкционных сталей и сплавов того же института. Сфера научной деятельности — материаловедение. Лауреат Государственных премий СССР (1989) и РФ (2000), премии Совета Министров СССР (1989) и двух премий Правительства РФ (2000, 2007).

О перспективах замены металлических материалов (в частности, полимерными) научно-популярные издания объявили еще в середине XX в. Но спустя почти 70 лет даже в представляющей научное сообщество газете «Поиск» публикуется статья под заголовком «Металлы — в отставку?». Такая постановка вопроса может быть не только следствием заблуждения. Все знают: «Каменный век закончился не потому, что кончились камни», а потому что, начав шевелить мозгами, задумался Человек.

Определяющая роль металлов в развитии человеческого общества отмечена названиями его эпох — «бронзовый век», «железный век», хотя были и другие важные древнейшие материалы (древесные, керамические и др.).

В этой статье едва ли возможно с достаточной подробностью рассмотреть все металлы и сплавы, которые определяют развитие человечества. Можно упомянуть, что без благородных металлов, обладающих каталитической активностью (платины, палладия, родия и др.), невозможно было бы развивать химические технологии, улучшать экологические характеристики автомобильной техники; без никеля нельзя построить газовые турбины; без урана и циркония — создать атомную энергетику; в современной технике совершенно незаменимыми оказались тугоплавкие металлы (молибден, вольфрам, ниобий); легкие сплавы на основе алюминия, магния и титана внесли на определенном этапе решающий вклад в авиационную технику. Простое перечисление всех направлений использования металлов в современной промышленности заняло бы огромное место. О роли золота и серебра вообще нет необходимости рассказывать.

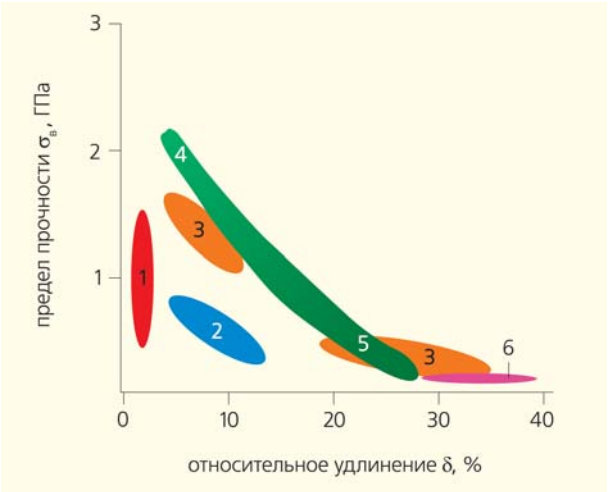


Рис.1. Соотношение между прочностью и пластичностью для промышленных конструкционных материалов. 1 — керамика, 2 — Al-сплавы, 3 — Ti-сплавы, 4–5 — стали: 4 — высокопрочные, 5 — низкоуглеродистые; 6 — полимеры. Для керамики приведена прочность при изгибе.

Мы решили сконцентрировать внимание читателей на роли стали, которая остается доминирующим конструкционным материалом, в несколько раз превосходящим по объему потребления все другие металлы, вместе взятые.

Из приведенной на рис.1 диаграммы видно, что для создания широкого спектра применения самые лучшие материалы — металлические: они обеспечивают прочность, надежность и долговременность конструкций, необходимых во всех областях жизнедеятельности человека.

Не требует доказательства тот факт, что практически ни один новый наукоемкий материал не может быть произведен без оборудования, изготовленного из металлов. Следует заметить, что термин «наукоемкость» скорее конъюнктурный, поскольку разработка любого материала, в том числе и металлического, — результат системных фундаментальных исследований, обеспечивающих создание необходимой структуры материала и, соответственно, его свойств.

Так, прогресс в физикохимии и технологии рельсовых сталей обеспечил увеличение их ресурса более чем в два раза, что отмечено Государственной премией.

Юрий Владимирович Цветков, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией плазменных процессов в металлургии и обработке материалов того же института. Область научных интересов — металлургия, физхимия, технология плазменных процессов получения конструкционных и функциональных материалов с особыми свойствами, в том числе наноструктурных. Лауреат премии Совета Министров СССР (1975) и премии Президиума РАН имени П.П.Аносова (1989).

Валентин Михайлович Иевлев, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой междисциплинарного материаловедения МГУ имени М.В.Ломоносова. Основатель научной школы в области материаловедения функциональных и конструкционных материалов. Награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (1999), заслуженный деятель науки РСФСР (1991).

Из диаграммы следует, что наиболее широким диапазоном возможностей управления свойствами, необходимыми для конструкционных материалов, обладают именно металлические сплавы. Пагубность поддержки мнения, согласно которому металлы исчерпали возможности достижения более высоких показателей по свойствам или по их комплексу, состоит в том, что оно порождает снижение у исследователей, далеких по кругу научных интересов от материаловедения, уверенности в целесообразности проведения работ фундаментального характера в области физикохимии и технологии металлических сплавов. В то же время большинству материаловедов ясно, что немалые возможности остаются еще нереализованными в части легирования сплавов, в области технологии управления их структурой и свойствами (от нано- до монокристаллического состояния).

Если бы обсуждаемая постановка вопроса заканчивалась на стадии мнений, можно было бы не реагировать на выступления адептов «новых, наукоемких» материалов, но, к сожалению, фактически недооценивается, а следовательно, недофинансируется работа по фундаментальным и фундаментальным-ориентированным исследованиям, направленным на создание новых металлических сплавов и материалов. Это чревато серьезными отрицательными последствиями в дальнейшем развитии практически всех отраслей современной техники.

Следует добавить к сказанному, что металлы и сплавы входят в качестве компонента в состав многих, в том числе уникальных, композиционных материалов и являются их неотъемлемой частью. Отсюда следует необходимость выполнения фундаментальных работ по совместимости металлических и неметаллических материалов в различных эксплуатационных условиях.

Рассмотрим более подробно наиболее широко использующийся металлический материал — сталь. В последние 10–15 лет создается мнение (которого придерживаются даже некоторые специалисты-материаловеды), что сплавы на основе железа — главным образом, это конечно, сталь — отживающий свой век материал, роль которого в развитии цивилизации будет непрерывно уменьшаться. Есть некоторые прогнозисты, утверждающие, что через несколько десятков лет стали будут второстепенным материалом, а их место как базового материала в технике займут пластики, керамика и полимерные композиционные материалы на их основе. Это, безусловно, заблуждение. Жизнь опровергает такие прогнозы, и иллюстрацией тому служат данные, опубликованные Всемирной ассоциацией стали (The World Steel Association) и приведенные в таблице. Содержащиеся в ней сведения позволяют заключить, что тенденция к «отставке» стали не выявляется.

Некоторое уменьшение производства стали в 2016 г. в Японии, США, Германии определяется прежде всего экономическими причинами: более высокой стоимостью производства на территории указанных стран и выгодами от ввоза более дешевой стали из быстро развивающихся стран (дешевая рабочая сила и менее строгие экологические требования). Например, по оценке Все-

Таблица

Итоги мирового производства стали в 2015 и 2016 гг.

Страна	Производство стали, млн т		
	2015	2016	прирост, %
Китай	798.8	808.4	+1.2
Япония	105.1	104.8	–0.3
Индия	89.0	95.6	+7.4
США	78.8	78.6	–0.3
Россия	70.9	70.8	–0.1
Республика Корея	69.7	68.6	–1.6
Германия	42.7	42.1	–1.4
Турция	31.5	33.2	+5.2
Весь мир	1615.4	1628.5	+0.8

мирной ассоциации стали, Индия становится наиболее перспективным рынком и в ближайшее время обгонит Японию, выйдя на второе после Китая место по производству стали. Всемирная ассоциация стали опубликовала отчет о мировом производстве стали в 2018 г. Согласно этим данным, мировое производство стали в 2018 г. увеличилось на 4.6% по сравнению с 2017 г., составив 1.809 млрд т. Средняя стоимость тонны стали достигла в 2017 г. 494 долл. США, а в 2018 г. возросла до 498 долл. США. О какой «отставке» стали могут говорить эти цифры?

Основным конкурентом металлических материалов называют углепластики, реже — стеклопластики. Их производство быстро растет, в основном для применения в авиакосмической промышленности, и существенно превышает в процентах прирост производства стали.

Расширяющееся применение углепластиков обеспечило возможность создания летательных аппаратов, которые существенно превосходят по эксплуатационным качествам традиционные, изготовленные с применением алюминия и титана. Из углепластиков изготавливаются крылья, а в результате последних разработок также и основная часть фюзеляжа пассажирских и военных самолетов. Применение углепластиков определяется прежде всего их преимуществом перед металлическими сплавами в удельной прочности (отношению прочности к плотности) и высокой удельной жесткости.

Их недостатки в ряде практически важных свойств это чувствительность к точечным ударам, трудность реставрации при сколах и царапинах, а в местах контакта с металлом — коррозия металла (для предотвращения которой закрепляют вставки из стекловолокна), сложность утилизации и повторного использования.

Было бы большим допущением называть углепластики и стеклопластики дешевыми материалами. Реальная их стоимость может быть в первом приближении оценена в 4000–8500 долл. за тонну. Наконец, можно отметить, что при оценке стоимости рассматриваемых композиционных материалов имеют в виду только стоимость производства непосредственно композита, но стоимость изготовления компонентов композитных материалов обычно не упоминается.

Трудно представить, что из этих композиционных материалов в перспективе будут изготавливаться основные материалоемкие конструкции, главные особенности которых — прочность, жаропрочность, износостойкость. А ведь это горнодобывающие машины, железнодорожные рельсы и колесные пары, теплоэнергетические конструкции, инструменты для обработки резанием или давлением и многие другие подобные изделия.

Если говорить о таком важнейшем свойстве материалов, как жаропрочность, то следует отметить, что все без исключения материалы на основе пластиков имеют довольно низкий температурный предел их использования на воздухе (~450°C) тогда как металлические сплавы на воздухе выдерживают ≈1250°C (рис.2), а сплавы благородных металлов платиновой группы — и 1550°C.

При переходе к температурам эксплуатации выше 1250°C на воздухе появляется необходимость использования технической керамики и композитов на ее основе, которые применяются и при температурах выше 2200°C. Но свойственная этим классам материалов хрупкость во многих случаях ограничивает области их использования. Заметим, что преодолеть этот недостаток в большинстве случаев в ближайшем будущем не представляется возможным, так как он обусловлен особенностью химической связи керамических материалов.

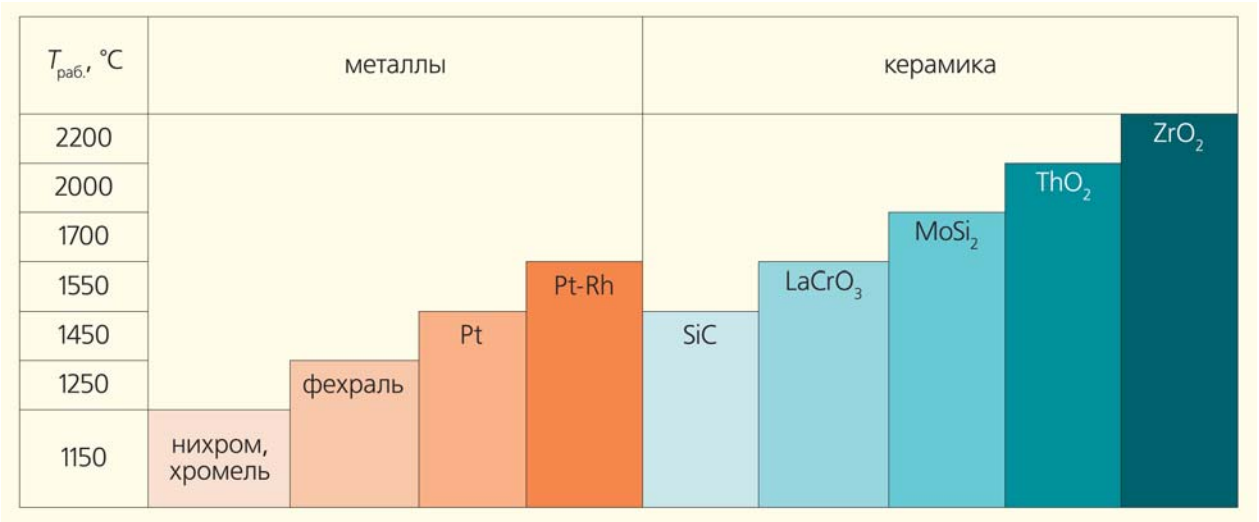


Рис.2. Предельная температура эксплуатации на воздухе нагревателей из металлических и керамических материалов.

Есть основания полагать, что развитие исследований свойств керамических материалов в области высоких температур позволит найти решение проблемы, поскольку некоторые такие материалы проявляют при высоких температурах пластичность. Необходимы системные исследования для выделения группы керамических материалов, которые при высоких температурах сочетают пластичность и прочность, подобные характерным для металлических сплавов при обычных и умерено высоких температурах.

Необходимо отметить, что и керамические материалы, имеющие некоторые преимущества перед металлами, особенно при высоких температурах эксплуатации на воздухе, в большинстве случаев все же не могут их заменить. Полимеры, керамика и композиты на их основе, как видно на рис.1, занимают только небольшие участки из всего поля материалов.

Следует учитывать, что себестоимость производства новых наукоемких материалов и изделий из них, как правило, более высокая. В отличие от металлических материалов рециркуляция композиционных — более сложная практическая задача, и с ускорением прогресса техники, определяющего необходимость придания материалам новых качеств, роль ее будет резко возрастать.

Нельзя, конечно, отрицать, что значение новых материалов с течением времени будет усиливаться, в основном в связи с развитием принципиально других направлений техники, роль экономических факторов для которых будет не столь важна. Углепластики, стеклопластики, металлопластики, керамика, полимеры закономерно будут занимать новые ниши в технике, вытесняя металлические материалы.

Но и в этих условиях потребность в металлических материалах как основе подавляющего большинства самых разнообразных конструкций, необходимых для производства материалов других типов, сохранится. Такое положение, если исходить из реальных оценок, мало изменится еще не одно столетие. Было бы правильным говорить прежде всего не о замене металлических материалов (она, несомненно, будет иметь место в некоторых объемах, в особенности, когда такая замена приводит к удешевлению), а о добавлении к ним новых типов перспективных материалов, которые обладают необходимыми свойствами, расширяющими перечень свойств, присущих металлам.

Мы отнюдь не противники проведения дальнейших исследований по созданию и расширению использования углепластиков, стеклопластиков и многих других композиционных материалов, но, как материаловеды, хотим, чтобы излишняя пропагандистская шумиха вокруг этой проблемы не нанесла урон дальнейшему развитию металлических материалов.

Можно с уверенностью сказать, что «железный век» человечества продолжается и пока альтернативы металлам нет и не предвидится.■

Metals Will Always Be Needed!

K.A.Solntsev[1,2], O.A.Bannykh[2], Yu.V.Tsvetkov[2], V.M.Ievlev[1]
[1]Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
[2]Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, RAS (Moscow, Russia)

We are trying to pay particulate attention to the role of metallic materials in the formation and development of civilization, as well to their place in the field of the basic properties of modern structural materials. A unique combination of properties (ductility, strength, wearing quality, thermal and chemical resistance) of metals and of the structural materials on their basis ensure their indispensability in a wide range of industries. An inexhaustible resource in improving the operational characteristics of traditional materials, for example, steels, shows the need for the further development of fundamental and applied research. Considering a wide range of other materials (plastics, ceramics, and composites), the authors reasonably conclude: metallic materials will always be in demand.

Keywords: metals, structural materials, metallic materials, the role in the formation and development of civilization.

Опасные связи, или Что нужно знать об экологии северных озер

З.И.Слуковский[1,2]

[1]Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (Апатиты, Россия)

[2]Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Россия)

© Слуковский З.И., 2019

DOI:10.7868/S0032874X19120020

Озеро Айранне в г.Сортавала (Республика Карелия). Фото автора

Озера — одно из главных богатств и достояний жителей северных регионов России. Это транспортные пути, рекреационные возможности и добыча полезного сырья в виде сапропеля. По подсчетам специалистов, в одной лишь Карелии насчитывается около 60 тыс. озер, а в Мурманской обл. — около 100 тыс. К сожалению, они подвержены загрязнению как со стороны локальных источников, так и в результате дальнего переноса поллютантов через атмосферу. Большую опасность представляют тяжелые металлы. Однако при исследовании геохимических аномалий этих загрязнителей необходимо понимать, в какой форме находятся металлы, попавшие в водоем. В статье дается разбор основных тенденций поведения тяжелых металлов в донных отложениях малых озер Карелии и Мурманской обл. Только после проведения таких работ можно с уверенностью говорить о настоящих экологических рисках, формирующихся в озерах севера России.

Ключевые слова: донные отложения, малые озера, формы нахождения тяжелых металлов, биоиндикация, Карелия, Мурманская обл.

Захар Иванович Слуковский, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН и лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии Института геологии Карельского научного центра РАН. Специалист в области экологической геохимии, геоэкологии, биогеохимии, биоиндикации.
e-mail: slukovsky87@gmail.com

Мне часто встречаются люди (и молодые, и в возрасте), живущие на Севере и не знающие о точном или даже приблизительном количестве озер в нашем регионе. Вот пример. Летом 2017 г. я был в небольшой экспедиции на юго-западе Карелии, вблизи границы с Финляндией. Занимаясь поиском подходящего водоема для отбора проб донных отложений, мы заехали в Сортавалу — городок, расположенный на берегу Ладожского озера. Городские водоемы — одна из основных тем моих исследований, поэтому навигатор привел нас к озерку под названием Айранне. Увидев вблизи него женщин 40–45 лет, удящих рыбу, я подошел поинтересоваться, тот ли это водный объект, о котором нам сообщил прибор. И дело даже не в том, что я не доверяю последнему слову техники, а в том, что названия озер (особенно небольших водоемов) на картах могут отличаться от тех, которые есть на самом деле, и, соответственно, местные жители должны об этом знать. Однако ответ одной из женщин, стоявших на берегу озера с удочкой в руках, ввел меня в ступор.

— Это Ладожское озеро, — без доли сомнения поведала она. Хотя на самом деле Ладожское озеро расположено в нескольких километрах от того места, где находились мы, о чем я после паузы поспешил сообщить ей, но получил еще более неожиданное продолжение разговора.

— Так в Карелии всего два озера: Ладожское у нас и Онежское там, — махнула женщина в сторону, подразумевая восток региона, после чего уставилась на поплавок, показывая всем видом, что дальнейший диалог вести бессмысленно. Я подождал пару мгновений, отходя от ее неожиданного утверждения и, усмехнувшись не то от ее невежества, не то от осознания своей беспомощности в сложившейся ситуации, ушел к машине разгружать вещи и начинать работу.

Куда без геологии?

Согласно оценкам специалистов из Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, на территории Карелии насчитывается около 61 тыс. озер [1]. В Мурманской обл., расположенной севернее, их еще больше — около 100 тыс. [2]. В сумме это примерно соответствует общему числу озер в Финляндии, площадь территории которой — как раз Карелия и Мурманская обл., взятые вместе. Однако все и вся на свете знают, что именно Финляндия — страна тысячи озер (это стало ее брендом), а вот о Карелии или Мурманской обл. такое слышно редко. Даже местные жители, как вы уже поняли, этого не осознают, хотя я уверен, та же женщина из Сортавалы сообщила бы мне, что в Финляндии много озер. Именно эта информация раскручивается при помощи средств массовой информации и рекламы.

Изучением озер и в России, и за рубежом занимаются специалисты-лимнологи. Если учесть, что озеро — самостоятельная сложная экосистема с множеством факторов, влияющих на ее образование и развитие, то в лимнологию люди приходят из разных областей знаний: биологии, экологии, географии и др. Я пришел из геологии, а вернее — из геохимии. «Что же геологического, а тем более геохимического, — спросите вы, — можно найти в озерах?» К счастью, очень много всего, начиная от происхождения озер, котловины которых могли образоваться на месте тектонических разломов или карстовых провалов, и заканчивая накоплением донных отложений, происходящим благодаря эрозии, т.е. размыву берегов и переносу частиц от литорали на дно. Именно для изучения донных отложений, которые можно также назвать илами или осадками, нужны знания по геохимии. А если речь идет о современных отложениях, сформировавшихся за последние 100–150 лет, то нужны знания по экологической геохимии. В этой молодой дисциплине акцент делается на вещества или элементы с пометкой «загрязнители». За последние полтора века их было принесено в окружающую среду, и в том числе в озера, столько, сколько не приносило человечество за всю предшествующую историю. Например, в результате дальнего переноса загрязняющих веществ аэрозолями ежегодное поступление на территорию Республики Карелия тяжелых металлов — одних из самых опасных загрязнителей — составляет около 1.5 т [3]. И это речь лишь о четырех металлах — Pb, Cu, Ni и Cd. Повышенные содержания не менее опасных Tl, Sb, Zn, Hg и др. также фиксируются в озерах, расположенных даже в самых чистых районах севера России [4–6]. Однако о количестве их ежегодного привноса на территорию Карелии пока ничего не известно.

С другой стороны, мы хорошо знаем источники поступления большинства металлов и факты их негативного воздействия на живые организмы, населяющие озера. В самой Республике Карелия, где я провожу лимнологические исследования с 2013 г., главная опасность исходит от крупнейшего города в регионе — Петрозаводска с населением около 300 тыс. человек — и предприятия по добыче и переработке железной руды, расположенного вблизи городка Костомукши (около 30 тыс. жителей) [1, 5, 7]. Кроме того, металлы могут накапливаться в результате выбросов железнодорожного транспорта, поскольку через всю республику, с юга на север, проходят пути Октябрьской железной дороги. Этот маршрут,

Рис.1. Медно-никелевый комбинат в г.Мончегорске (Мурманская обл.).

mandarin51.ru/monchegorsk.html

проложенный еще в начале XX в., приводит нас в Мурманскую обл., ради освоения недр которой его и задумывали. Здесь с 1930-х годов и по сей день активно работают многочисленные горнодобывающие и металлургические предприятия, которые также выбрасывают в окружающую среду загрязняющие вещества [8]. В первую очередь это касается выбросов Ni и Cu от предприятий по добыче и переработке медно-никелевой руды (рис.1). В озерах, расположенных вблизи г.Мончегорска, концентрации этих металлов многократно превышают фоновый уровень [9]. Пожалуй, в данном случае нет большого смысла объяснять, как в таких водоемах живется их обитателям. Специалисты из Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН говорят, что в районе есть озера, где какая-либо жизнь убита выбросами металлургического производства на корню. Однажды им пришлось констатировать этот факт демонстрацией пустых сетей. Представьте удивление местных жителей, наблюдавших за бесполезными стараниями ученых во время установки снасти и едва скрывавших усмешку. Для большинства мончегорцев отсутствие рыбы в отдельных водоемах рядом с комбинатом — давно не секрет.

Грязь с тухлятиной

Но и наличие рыбы и других живых организмов в озерах промышленных районов и урбанизированных территорий — не показатель чистоты. Лишь достигнув критических значений концентраций, тяжелые металлы могут привести к гибели отдельных видов, во всех остальных случаях металлы, мигрируя по цепям питания от бентоса или планктона к рыбе, обычно накапливаются в жизненно важных органах: печени, почках, жабрах и костях [10]. Проводя работы по исследованию экосистемы оз.Ламба, расположенного в Петрозаводске рядом с ТЭЦ, мы обнаружили аномальные концентрации V и Ni как в донных отложениях водоема, так и в организмах обитающих в нем окуня и плотвы*. Оба металла — результат выбросов предприятия, применяющего в качестве топлива мазут, в котором естественные примеси — V и Ni. Использование оз.Ламба и подобных ему водоемов в рекреационных целях, в том числе для рыбной ловли, что регулярно происходит на городских водоемах (рис.2), чревато миграцией этих тяжелых металлов прямо на обеденный стол любителей летней или зимней ловли. Кстати, диалоги с рыбаками не о рыбалке, а об их улове, никогда не приводили к успеху в виде отказа от ловли в загрязненном водоеме. Цифры, называемые мной и коллегами, обычно воспринимались с большим сомнением и подозрением. Доверия к ученым и результатам их работ в современном обществе, увы, очень мало, тем более если рыба выглядит как рыба, вода — как вода, а донные отложения — как обычные донные отложения. На осадках, когда достаешь их из озера, не написано, что они чем-то загрязнены. Мы и сами узнаем (или не узнаем) об этом лишь после получения химического анализа. Что же говорить о простых смертных?

Внешне донные отложения озер, действительно, мало что могут поведать об их геохимических особенностях, особенно если речь о содержании микроэлементов, к которым относятся и тяжелые металлы. Большинство осадков, с которыми нам с коллегами приходится работать в Карелии и Мурманской обл., имеют темно-бурый, зеленовато-бурый или черный цвет. Однажды, увидев меня за работой, мой старший сын воскликнул: «Что за грязь ты изучаешь!». И правда, первая ассоциация при виде наших отложений — с грязью, которую мы можем наблюдать в лужах, в сточных канавах или у дорог после размыва почвы. Запах осадков — болотный, иногда отдающий тухлятиной, что связано с выходом сероводорода [11].

Основными приборами, которые мы используем при изучении озерных илов, служат дночерпа-

Рис.2. Рыбак на оз.Ламба (Петрозаводск, Республика Карелия).

Фото автора

* См.: *Слуковский З.И.* Сантиметры истории, или Как тяжелые металлы маркируют события промышленного века в отдельно взятом водоеме // Природа. 2018. №7. С.23–29.

Рис.3. Пробоотборник Limnos с колонкой отложений.
Фото А.Тихоненко

тель Экмана—Берджи и пробоотборник Limnos. Второй более ценен, поскольку позволяет отбирать вертикальные столбики (лимнологи называют их колонками) отложений с ненарушенной последовательностью залегания слоев (рис.3). Чаще всего эти слои (от 1 см и толще) условны, а их выделение продиктовано одним лишь желанием установить время начала антропогенного воздействия на экосистему водоема. Визуальные методы, как вы поняли, тут не работают. Проще говоря, фоновые слои осадка, образовавшиеся в доиндустриальное время, будут такие же по цвету, запаху и консистенции, как и слои, чье происхождение связано с эпохой расцвета и развития промышленности и транспорта. Однако содержания тяжелых металлов в них будут сильно отличаться. Чтобы не привнести металлы в образцы отложений, все последующие процедуры выполняются с использованием приспособлений из пластика, керамики, стекла и других материалов, не загрязняющих пробу. Подчас колонки отложений добыты в очень труднодоступных районах (тайге, болотах, горных массивах), и к выбору методов исследования проб необходимо подходить с запредельной осторожностью. Цена ошибки очень высока.

В лаборатории образцы донных отложений разбираются на самые разные виды анализов — гранулометрический, диатомовый, прокаливание, оценка возраста по изотопам Pb и Cs и, конечно, химический. Содержание тяжелых металлов мы выполняем на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой в Институте геологии Карельского научного центра РАН. Этот прибор позволяет оценить концентрации около 50 различных элементов — от Li до U. Но с точки зрения экологической геохимии и лимнологии нас интересуют элементы, представляющие угрозу живым организмам. Обычно этот набор из 7–16 металлов зависит от озера и антропогенной нагрузки на него.

По следам Андрэ Тэсье

Самые распространенные загрязнители озер на севере России — Pb, Zn, Cd, Tl, Sb, Sn, Tl и Bi. Представителями этой омерзительной восьмерки в той или иной степени отравлены все изученные нами озера, что говорит о дальнем распространении загрязнителей. Согласно датировкам, полученным нами и коллегами из Норвегии и Финляндии и из других учреждений России, рост концентраций указанных элементов начался с середины XIX в., что хорошо согласуется с началом деятельности многих крупных заводов и фабрик в Европе и США. Если вас удивляет это факт, можно обратиться к исследованиям кернов ледников Гренландии [12], где получены аналогичные закономерности, только в качестве депонирующей среды выбраны не осадки озер, а лед.

Всякий, кто изучал загрязнение почв или донных отложений водных объектов тяжелыми металлами, знает, что их повышенные валовые концентрации не всегда свидетельствуют об экологическом неблагополучии среды. Конечно, подключив методы биологической индикации к геохимическим исследованиям, можно ответить на большинство экологических вопросов. Но, во-первых, это не всегда получается по финансовым и кадровым причинам, а во-вторых, как правило, удается ответить на многие вопросы, но не на все. И главное, геохимическая картина состояния донных отложений окажется неполной, что войдет в диссонанс с тем трудом, который был вложен в экспедицию или подготовку образцов. Важно проводить анализ форм нахождения тяжелых металлов. Именно такая работа может пока-

зать всю глубину проблемы загрязнения, с которой столкнулся лимнолог.

40 лет назад в журнале «Analytical Chemistry» вышла статья трех ученых во главе с профессором А.Тэсье из Национального института научных исследований (National Institute of Scientific Research) Университета Квебека в Канаде [13]. В публикации приводилось описание процедуры последовательной экстракции тяжелых металлов в речных отложениях с использованием различных реагентов. Ученые взяли за основу представление, что тяжелые металлы, попадая в среду донных отложений или почвы, связываются в комплексы, основу которых составляют либо карбонаты, либо гидрооксиды железа и марганца, либо органическое вещество [14]. Часть металлов остается в минеральной фазе, т.е. связано с первичными минералами, с которыми они и поступили в депонирующую среду. Еще часть находится в нестабильном положении (в подвижных формах) и может с легкостью высвободиться обратно. В случае донных отложений металлы перейдут обратно в воду, инициируя процесс повторного загрязнения водоема.

Проблеме выделения подобных форм тяжелых металлов посвящено огромное количество научной литературы. Существуют попытки видоизменить или опровергнуть выводы Тэсье и его коллег. Однако до сих пор их работа 1979 г. остается востребованной у экологических геохимиков по всему миру. Только в одной базе данных Web of Science ссылок на нее на момент написания этих строк насчитывается 6653, а в поисковой системе Google Scholar еще больше — 12 253. Это значит, что с момента выхода статьи канадских ученых на нее ежегодно в разных уголках мира ссылаются в среднем более 300 раз. И нельзя забывать, что это лишь те ссылки, которые можно учесть. В реальности цитируемость данной публикации выше.

Два озера — две судьбы

Изучая по методике Тэсье донные отложения озер Карелии и Мурманской обл., мы больше всего хотели понять, какова роль органического вещества в аккумуляции тяжелых металлов? Для каждого металла в отдельности эта роль может быть совершенно разной, если принять во внимание их различные свойства. Почему именно органика? Все просто: отложения большинства озер северной таежной зоны — это илы с большим и даже очень большим содержанием органического вещества [11]. Для отложений, в которых содержание органики превышает 30% сухой массы, существует специальный термин — сапропель. Так вот, встречаются озера с сапропелем, где доля органики достигает 80%, остальное приходится на кремнезем, соединения алюминия, железа и некоторые другие. Особенно это распространено в болотистой местности, где совершенно нет источников поступления минеральной фракции в отложения озер. И следовательно, основную массу илов здесь формирует органика.

Еще одна причина, по которой методика Тэсье важна в лимнологических работах, связана с оценкой подвижности металлов и рисков повторного загрязнения озер. Металлы, которые в донных отложениях не связаны никакими фазами, наиболее опасны для живых организмов, да и для функционирования всей экосистемы в целом. Именно такие металлы поступают в организмы рыб и в водную растительность, потому второе название этой формы нахождения — биодоступная. Органическая фаза тоже биодоступна, но лишь в случае непосредственного поглощения донных отложений, например, во время питания, что с успехом делают бентосные организмы и рыбы-бентофаги (плотва, лещ). Эти две формы нахождения металлов в донных отложениях должны быть проанализированы в первую очередь, чтобы получилась полная картина состояния водной среды озера.

В 2017 г. Российский фонд фундаментальных исследований поддержал наш проект по изучению форм нахождения тяжелых металлов в донных отложениях малых озер северо-запада России. К тому моменту у нас уже была создана хорошая база данных для озер, которые важно исследовать, используя средства нового гранта. С одной стороны, решено было продолжать изучать озера городской среды, с другой — взять курс на анализ водоемов, ранее выделенных в качестве пригодных для добычи сапропеля [15], т.е. в обоих случаях есть как фундаментальные цель и задачи, так и практический смысл лимнологических исследований. Подготовку проб по методике последовательной экстракции металлов проводили в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН, у специалистов, которые уже имели опыт работы с сильно загрязненными грунтами, отобранными на территории Мурманской обл.

Результатов получилось много, и они настолько разнообразны, что привести их все в одной научно-популярной статье не представляется возможным. Да в этом и нет необходимости, ведь общую суть можно изложить и вкратце. В первую очередь стоит отметить, что почти во всех изученных озерах Карелии и Мурманской обл. доминирующие формы нахождения тяжелых металлов — минеральная фаза и форма, связанная с органическим веществом донных отложений. Соотношение этих форм зависит от общего количества органики в самих осадках: чем больше в них органического вещества, тем большую значимость приобретает данная форма нахождения металлов. Например, мы получили совершенно разные картины поведе-

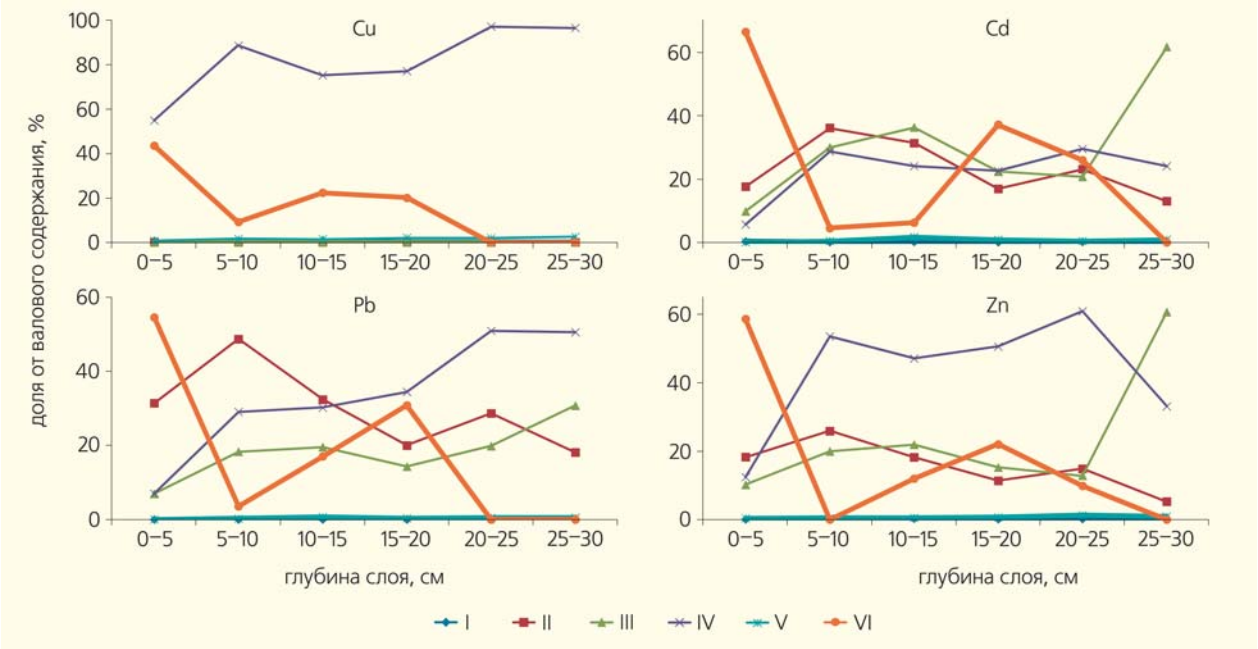


Рис.4. Графики различных форм тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Pb) в отложениях оз.Лиункунлампи (Республика Карелия). Формы: I — водорастворимые, II — обменные катионы (подвижные), III — связанные с гидроокислами Fe и Mn, IV — связанные с органическим веществом, V — кислоторастворимые (остаточные), VI — минеральные.

ния металлов в осадках при изучении двух малых озер на юго-западе Карелии. В одном из них (Райватталанлампи) содержание органического вещества составляет всего 26%, а в другом (Лиункунлампи) — 88%. В Лиункунлампи большинство металлов сорбируется органикой, особенно Cu, Zn, Cd, Sb и Pb (рис.4), а в Райватталанлампи тесную связь с органикой имеют лишь Cu и Zn. Также в обоих водоемах велика роль подвижных форм Zn, Cu, Tl и Pb. Так, в осадках Лиункунлампи подвижность Cd достигает 40%, а Pb — 50%. Все изученные металлы в этих озерах — результат дальнего переноса загрязнителей. В основном это выбросы Санкт-Петербурга, расположенного в 150 км от района исследования [16].

Совсем иную ситуацию можно наблюдать в озерах городской среды. Помните про V и Ni в осадках и рыбе в оз.Ламба? Оба металла обладают высокими концентрациями в органической и биодоступной формах (рис.5). Рыбы получают в свой рацион эти металлы именно потому, что загрязнители создают соответствующие экологические риски для

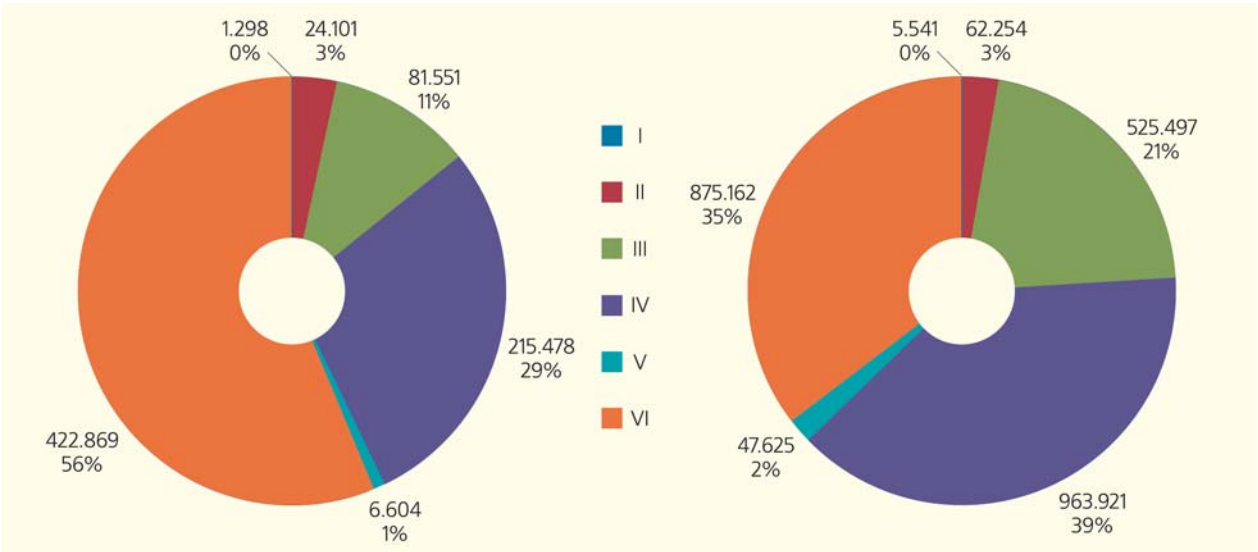


Рис.5. Распределение различных форм ванадия (мг/кг, %) в отложениях оз.Ламба (Петрозаводск, Республика Карелия). Слева — горизонт 0–5 см, справа — 5–10 см. Расшифровка обозначений приведена на рис.4.

развития экосистемы, находясь в потенциально опасных формах. Формы решают все. Поведение других металлов (Pb, Bi, Mo, Zn, Cu, Co) здесь также напрямую зависит от органического вещества, которого в илах Ламбы около 50%. В этом же озере выявлено сильное влияние соединений железа (составляющих до 16% от общей массы илов) на аккумуляцию таких металлов, как V, Ni, Zn и Cd. Последний в отложениях многих изученных озер имеет высокие концентрации в биодоступной форме, что с учетом его распространенности как глобального загрязнителя крайне негативно сказывается на развитии подобных водоемов.

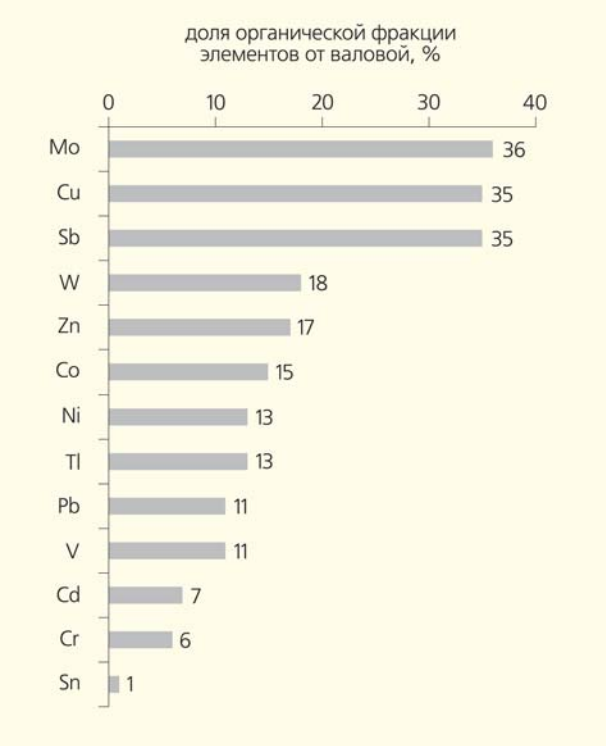


Рис.6. Доля органических форм металлов относительно валового содержания в донных отложениях оз.Комсомольского (Мончегорск, Мурманская обл.).

Китай готов!

Органика играет значительную роль в формировании повышенного фона тяжелых металлов и в малых озерах городской среды Мурманской обл. В небольшом озере Комсомольском, расположенном в центре г.Мончегорска, выявлены высокие концентрации Ni, Cu, Co, Pb, Sb и Sn в современных осадках (рис.6). В них установлены 12–50-кратные превышения содержаний металлов над фоном. Особенно печальная картина складывается, естественно, по Ni и Cu, ведь рядом с городом, как уже отмечалось, дымит медно-никелевый комбинат. Однако судьба этих двух металлов, одновременно поступающих в окружающую среду города и его окрестностей, различна. Медь в большей степени тяготеет к органической фазе, наравне с Mo и Sb, а Ni сосредоточен в минеральной и подвижной формах. Второй факт делает Ni более опасным загрязнителем, чем Cu, ввиду эффекта вторичного загрязнения. Кроме того, в случае с Ni, в донных отложениях Мончегорска минеральная фаза — не только природные минералы из первичных пород, но и нерастворимые техногенные частицы, вылетающие из трубы комбината (рис.7). Они представляют собой продукт плавления или об-

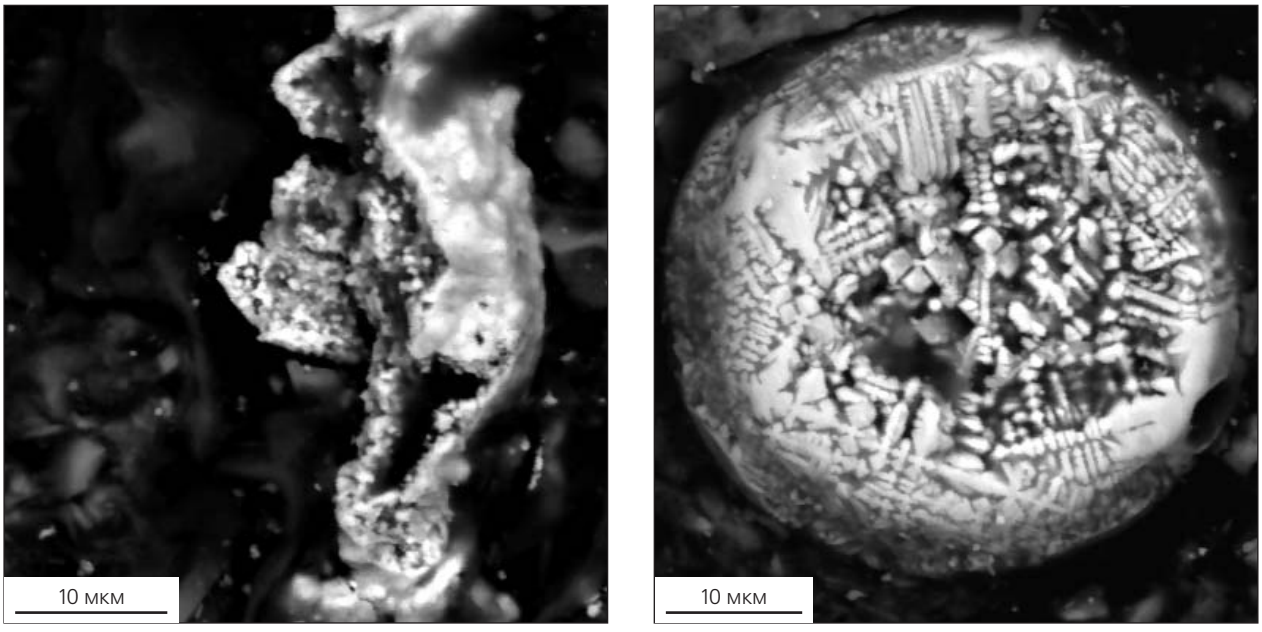


Рис.7. Техногенные частицы из осадков оз.Комсомольского (Мончегорск, Мурманская обл.). Слева — оксид Ni (с примесью Fe, Cr и Co), справа — оксид Fe (с примесью Ni).

жига руды, перерабатываемой на промышленном предприятии. Их удалось выявить благодаря использованию сканирующего электронного микроскопа [9]. В основном эти образования имеют сферическую или кляксовидную форму и размеры от нескольких до сотен микрометров. Ранее подобные выделения были обнаружены в снежном покрове вокруг Мончегорска. Найденные в илах частицы — тоже наследие исторических выбросов медно-никелевого производства [17]. А еще это значит (так как предприятие продолжает работу), что подобные образования могут содержаться в воздухе Мончегорска, даже прямо сейчас, пока вы читаете данный текст. Собственно, это же относится и к другим районам Севера, подверженным антропогенной нагрузке.

Значение проведенных и проводимых работ важно с различных позиций. В текущем году в Республике Карелия вновь появился интерес к озерным сапропелям со стороны бизнеса. Еще в советские и ранние российские годы в регионе проводились масштабные геолого-разведочные работы по оценке потенциала добычи этого полезного ископаемого. Было изучено более 200 перспективных озер [15]. Однако пока добыча отложений ни в одном из них не ведется, хотя известно, что озерный сапропель может применяться очень широко: в сельском хозяйстве, медицине, промышленности, природоохранных мероприятиях. Причем по информации, которую сообщили в рамках международной научной конференции «Озера Евразии», прошедшей в мае этого года в Казани, нашим сапропелем заинтересовались и за границей. Китай готов покупать и использовать осадки российских озер для рисовых плантаций. Я не проверял, связаны ли указанные факты (интерес к российскому сапропелю со стороны отечественного бизнеса и со стороны Китая), но допускаю, что это так. Но даже если не так, то этой связи будет легко образоваться в случае настойчивости обеих сторон. А уж в настойчивости одной из них (сами догадайтесь, какой) сомневаться не приходится. Кстати, сейчас ученые из Поднебесной — одни из лидеров по количеству исследований и публикаций, посвященных тяжелым металлам в донных отложениях водных объектов. Пожалуй, это будет хорошая возможность для налаживания международных связей по научной линии.

Автор благодарит своих коллег А.С.Медведева, Е.В.Сыроежко, Д.Г.Новицкого и М.А.Медведева за помощь в отборе проб донных отложений озер, О.П.Корытную, А.С.Парамонова, С.В.Бурдюха, М.В.Эхову и В.Л.Утицину за качественное проведение аналитических исследований, а также профессора В.А.Даувальтера за помощь в обсуждении результатов и моральную поддержку.■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-05-00897 «а»).

Литература / References

1. *Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Фрейндлинг В.А.* и др. Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск, 2001. [*Filatov N.N., Litvinenko A.V., Freyndling V. A. et al.* Catalog of Lakes and Rivers of Karelia. Petrozavodsk, 2001. (In Russ.).]
2. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейн Баренцева моря, Белого моря и Ботнического залива Балтийского моря). Ч.1. Апатиты, 2013. [An Annotated Ecological Catalog of Lakes in the Murmansk Region: the Central and Southwestern Regions of the Murmansk Region (Basin of the Barents Sea, the White Sea and the Gulf of Bothnia of the Baltic Sea). Part 1. Apatity, 2013. (In Russ.).]
3. *Vinogradova A.A., Kotova E.I., Topchaya V.Yu.* Atmospheric transport of heavy metals to regions of the North of the European territory of Russia. Geography and Natural Resources. 2017; 38(1): 78–85. Doi.org/10.1134/S1875372817010103
4. *Даувальтер В.А.* Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях водных объектов водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова. Геохимия. 2006; (2): 237–240. [*Dauvalter V.A.* Chalcophilic elements (Hg, Cd, Pb, As) in the bottom sediments of the White Sea watershed within the Kola Peninsula. Geochemistry. 2006; (2): 237–240. (In Russ.).] Doi.org/10.1134/S0097807810040093
5. *Слуковский З.И.* Микроэлементый состав донных отложений малых озер как индикатор возникновения экологических рисков в условиях урбанизированной среды Республики Карелии. Водное хозяйство России. 2018; (6): 70–82. [*Slukovskii Z.I.* Microelement composition of bottom sediments of small lakes as an indicator of environmental risks in the urban environment of the Republic of Karelia. Water Sector of Russia. 2018; (6): 70–82. (In Russ.).]
6. *Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Кокрятская Н.М. и др.* Геохимия донных осадков малого озера (водосбор Онежского озера, Архангельская область). Успехи современного естествознания. 2016; (9): 172–177. [*Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Kokryatskaya N.M. et al.* Geochemistry of bottom sediments of a small lake (catchment of Lake Onega, Arkhangelsk region). Advances in Modern Natural Sciences 2016; (9): 172–177. (In Russ.).]
7. *Лозовик П.А., Галахина Н.Е.* Изменения химического состава реки Кенти в результате техногенного влияния. Труды Карельского научного центра РАН. 2017; (3): 21–35. [*Lozovik P.A., Galakhina N.E.* Changes in the chemical composition of the Kenti River as a result of anthropogenic impact. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017; (3): 21–35. (In Russ.).]

8. *Dauvalter V., Kashulin V., Sandimirov S. et al.* Chemical composition of lake sediments along a pollution gradient in a Subarctic watercourse. J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. 2011; 46: 1020–1033.
9. *Слуковский З.И., Даувальтер В.А.* Морфология и состав техногенных частиц донных отложений оз.Нюдъявр, Мурманская область. Записки РМО. 2019; (3): 102–117. [*Slukovsky Z.I., Dauvalter V.A.* Morphology and composition of technogenic particles of bottom sediments of Lake Nyudyavr, Murmansk region. Zapisky RMO. 2019; (3): 102–117. (In Russ.).]. DOI:10.30695/zrmo/2019.1483.102-117
10. *Моисеенко Т.И.* Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб. Геохимия. 2015; 3: 222–233. [*Moiseenko T.I.* The influence of geochemical factors of the aquatic environment on the bioaccumulation of metals in the fish organism. Geochemistry International. 2015; 53(3): 213–223.]
11. *Синькевич Е.И., Экман И.М.* Донные отложения озер восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. Петрозаводск, 1995. [*Sinkevich E.I., Ekman I.M.* Bottom Sediments of Lakes in the Eastern Part of the Fennoscandinavian Crystalline Shield. Petrozavodsk, 1995. (In Russ.).]
12. *McConnell J.R., Edwards R.* Coal burning leaves toxic heavy metal legacy in the Arctic. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008; 34: 12140–12144.
13. *Tessier A., Campbell P.G., Bisson M.* Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry. 1979; 51(7): 844–851.
14. *Даувальтер В.А.* Факторы формирования химического состава донных отложений. Мурманск, 2002. [*Dauvalter V.A.* Factors of Formation of the Chemical Composition of Bottom Sediments. Murmansk, 2002. (In Russ.).]
15. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн.2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск, 2006. [Mineral Resources Base of the Republic of Karelia. Book 2. Non-metallic minerals. Groundwater and healing mud. Petrozavodsk, 2006. (In Russ.).]
16. *Опекунов А.Ю., Мануйлов С.Ф., Шахвердов В.А. и др.* Состав и свойства донных отложений р.Мойки и Обводного канал (Санкт-Петербург). Вестник Санкт-Петербургского университета. 2012; 7(2): 65–80. [*Opekunov A.Yu., Manuylov S.F., Shakhverdov V.A. et al.* Composition and properties of bottom sediments of the river. Sinks and the Bypass channel (St. Petersburg). Bulletin of St. Petersburg University. 2012; 7(2): 65–80. (In Russ.).]
17. *Gregurek D., Melcher E., Pavlov V.A. et al.* Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia. Mineralogy and Petrology. 1999; 65: 87–111.

Dangerous Bonds or What We Need to Know About the Ecology of the Northern Lakes

Z.I.Slukovskii[1,2]

[1]Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Center, RAS (Apatity, Russia)

[2]Institute of Geology, Karelian Research Centre, RAS (Petrozavodsk, Russia)

Lakes are some of the natural assets of the inhabitants of the north territories of Russia. The lakes provide transport, recreational opportunities and the mining of sapropel. According to specialists, there are about 60 000 lakes in Karelia and 100 000 lakes in the Murmansk region. Unfortunately, despite the significance of the lakes, they are contaminated from local sources and as a result of the long-range transport of pollutants. Heavy metals are especially dangerous. However, researching geochemistry anomalies of these elements, we need to understand what the crucial forms of heavy metals are. In this article, we will review the main tendency of the behavior of heavy metals in the lake sediments of Karelia and Murmansk oblast. Only after such a study we can confidently talk about the real environmental risks for the lakes of North Russia.

Keywords: sediments, small lakes, forms of pollutants, bioindication, Republic of Karelia, Murmansk oblast.

Гамма-излучатель ^{137}Cs — экспрессный индикатор экологических катастроф

А.М.Портнов

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)

При авариях АЭС необходима дистанционная аэрогамма-спектрометрическая съемка на базе беспилотников с целью установления аномалии в распределении ^{137}Cs. В контурах таких аномалий возможно наличие бета- и альфа-излучателей. Нынешние беспилотники способны нести современную портативную геофизическую аппаратуру и выполнять на огромных территориях дистанционные экспрессные поисковые геологоразведочные и экологические работы быстрее, а главное — значительно дешевле. Знание приемов поиска различных типов заражения позволяет уменьшить опасность последствий неизбежных техногенных катастроф.

Ключевые слова: аэрогамма-спектрометрия, аварии АЭС, аномалии ^{137}Cs, беспилотники.

Александр Михайлович Портнов, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и геохимии Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе. Область научных интересов — минералогия, геохимия, геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Постоянный автор «Природы».
e-mail: a.m.portnov@mail.ru

В конце апреля 1986 г. произошел взрыв на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС). Интенсивный выброс радиоактивных веществ из горящего реактора продолжался до 6 мая. В результате было выброшено 50 млн Ки* разных радионуклидов и 50 млн Ки радиоактивных газов. По оценкам экспертов, в них содержалось до 2.5 млн Ки ^{137}Cs и до 14 млн Ки ^{131}I. На территории СССР пострадало 11 областей, где проживало 17 млн человек, из них — 2.5 млн детей в возрасте до 5 лет. Радиация также задела более 20 государств (рис.1), в том числе Финляндию, Швецию и ряд стран Центральной Европы [1, 2].

Масштаб катастрофы в первые часы был неясен, но, к счастью, на аэродроме г.Киева стоял самолет АН-26 Гидрометеослужбы СССР, предназначенный для проведения аэрогамма-спектрометрической (АГС) съемки, т.е. оборудованный спектрометром, который позволял с высоты 100–150 м количественно оценить уровни гамма-излучения различных радиоизотопов с поверхности земли. Самолет немедленно начал работу и прошел больше десятка параллельных маршрутов в направлении юг—север. За один день была установлена обширная площадь радиоактивного заражения, достигшая Киева. Уровень радиации оказался очень высоким.

Первые схематические карты заражения немедленно передали в Москву и Киев. Утверждают, что их сразу показали лично М.С.Горбачеву. Тем не менее опасность ситуации была засекречена, радиостанции невнятно сообщали об аварии на Чернобыльской АЭС. Эвакуация населения г.Припяти в первые дни не проводилась. Уровень радиации зашкаливал, а в первомайские праздники дети Киева дышали воздухом с летучим гамма-бета-излучателем — радиоизотопом ^{131}I. Власти были в панике, растеряны, искали специалистов и вместо массовой защиты — «йодирования» населения и запрета употреблять местные продукты — делали все, чтобы скрыть масштабы бедствия.

Для детального изучения действительных размеров радиоактивного заражения была привлече-

* Ки, кюри — внесистемная единица измерения активности радионуклида (1 Ки = $3.7\cdot10^{10}$ Бк). Активность вещества равна 1 Ки, если в нем каждую секунду происходит $3.7\cdot10^{10}$ радиоактивных распадов.

© Портнов А.М., 2019

DOI:10.7868/S0032874X19120032

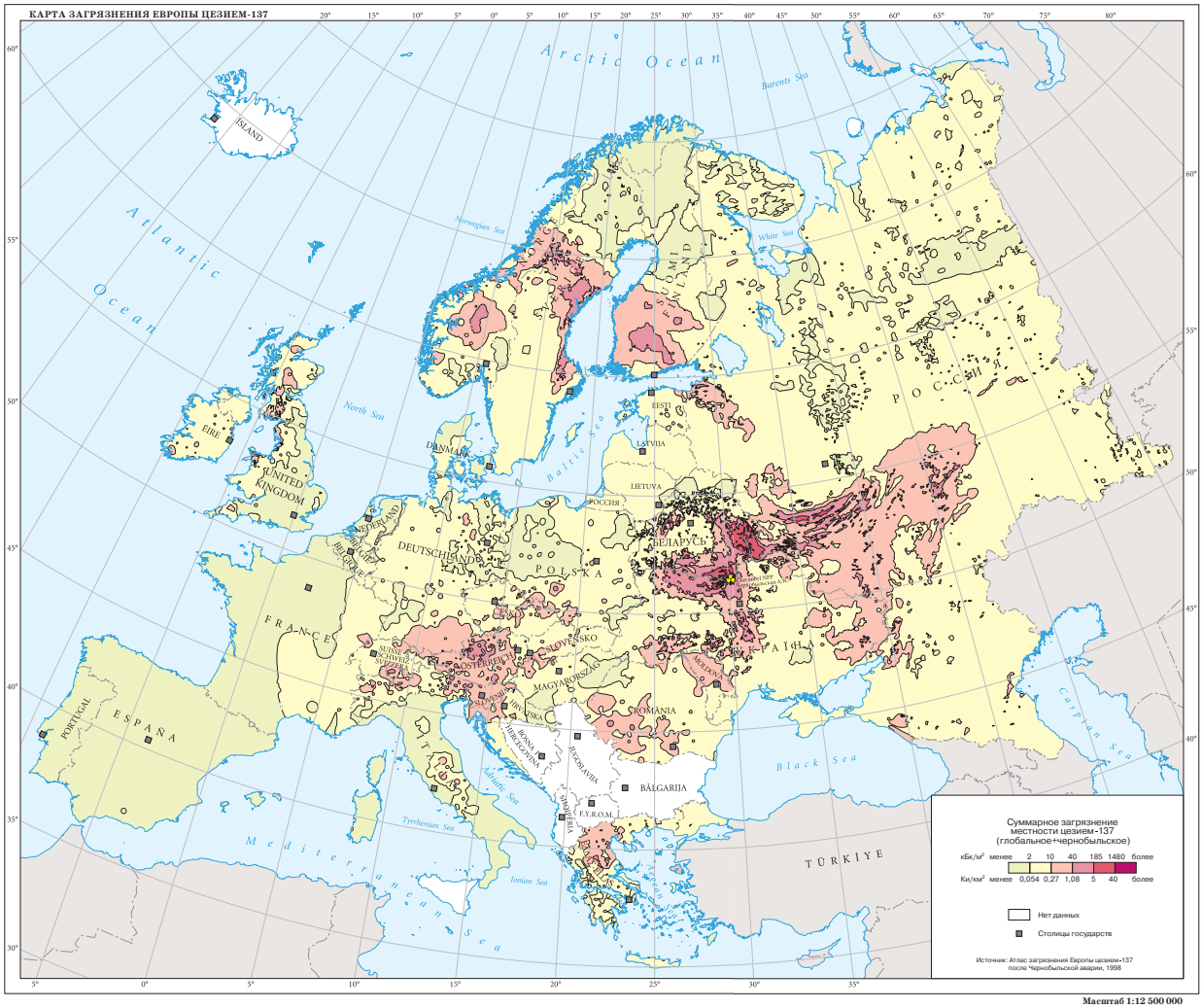


Рис.1. Карта заражения Западной Европы радиоизотопом ^{137}Cs (выбросы Чернобыля) [3].

на Московская геофизическая экспедиция Министерства геологии СССР, которая в то время обладала наиболее совершенным гамма-спектрометром канадской фирмы «Макфар» с чувствительными датчиками — кристаллами NaI (Tl). В течение нескольких лет я принимал участие в этих работах, обрабатывая данные и участвуя в составлении карт зараженности радионуклидами. Эти закрытые тогда комплексные исследования включали также данные многочисленных специалистов, изучавших концентрацию альфа- и бета-излучателей на значительных площадях. Построение окончательных карт проходило под руководством А.И.Перельмана (Институт геологии и минералогии рудных месторождений РАН, Москва) и академика РАН Ю.А.Израэля [3].

В начале наших работ активность гамма-излучения оставалась очень высокой за счет присутствия таких короткоживущих изотопов, как ^{144}Ce, ^{131}I и др., а также природных гамма-излучателей — K, Th, U. В этой статье мы ограничимся данными о площадном распространении относительно долгого живущего гамма-излучателя ^{137}Cs с периодом полураспада T½ = 30 лет, постоянно присутствующего в выбросах АЭС (^{137}Cs — также и бета-излучатель, но пробег электронов в воздухе составляет всего десятки сантиметров).

Съемка установила, что этот радиоизотоп, имеющий энергию гамма-излучения 0.66 МэВ, позволяет дистанционно выделять с высоты 100–150 м наземные ореолы катастрофических выбросов всех долгоживущих гамма-излучателей, причем цезий — самый подвижный из дисперсно рассеянных, но «негазовых» радиоизотопов. Воздушная миграция ^{137}Cs обусловлена высокой летучестью в микроаэрозольной форме (рис.2). В первые же дни радиоактивные выбросы Чернобыля достигли Финляндии и Швеции. В последней, например, об источнике радиации узнали от американцев, уже наблюдавших со спутников горение ЧАЭС. Как показали наши анализы, цезий легко улавливался бумажными фильтрами с самолета. Микрозондовый анализ состава фильтрата определил в нем присутствие цезия в виде частиц и тончайшей

Рис.2. Обзорная мелкомасштабная (1:10 000 000) карта заражения ^{137}Cs территорий Украины, Белоруссии и России. Площадь съемки — более 4 млн км^2. На основе проведенной АГС-съемки масштаба 1:500 000 на исследованной площади выделены участки для детального (1:100 000) картирования участков заражения радиоизотопом цезия значительной части Украины.

пыли размером 1–10 мкм, которая переносилась ветром на тысячи километров, вплоть до Аляски.

Построение карт позволило установить, что в аномалиях с максимальной концентрацией цезия обычно присутствуют радиоизотопы ^{90}Sr, ^{239,240}Pu, ^{241}Am и ^{244}Cm. В этом наборе наиболее подвижен (после цезия) ^{90}Sr. «Горячие частицы», такие как плутоний, америций и кюрий, выходили за пределы зоны 30 км вокруг ЧАЭС, преимущественно в западном направлении, что отражало направление ветрового разноса в период горения реактора (рис.3).

Все радиоизотопы в первый год накапливались в почвенном слое на глубине 5–60 см, причем цезий и здесь обладал максимальной подвижностью и, как показали анализы, впоследствии мигрировал в разрезе до глубины 1.5–2 м*. Изучение аэрофотоснимков и контуров аномалий на повторных залетах с интервалом два—три года определило малоподвижность выпавших на землю радиоизотопов. Цезий при этом сорбировался гумусом и глинистыми минералами [4]. Контуры загрязненных участков изменялись только при размыве берегов рек и ручьев, а также при образовании оползней на склонах оврагов и рек.

Радионуклиды Cs и Sr активно накапливаются в лесной растительности, траве, ягодах и особенно в грибах, включаясь в экологические пищевые цепи. Например, в Москве клюква, которую в то лето собрали на болотах под Гомелем (Белоруссия), давала 400 мкР (микрорентген) в час, а кости сомов, живущих около ЧАЭС, — до 40 тыс. мкР в час! Неожиданным стало сильное накопление цезия и стронция в лесной древесине. Об этом узнали только при попытке сжечь «рыжий лес», как назывались засохшие от радиации деревья. Они образовали зону, вытянутую в западном направлении, — соответственно ветру, который дул в период горения реактора. Дым от горящего «рыжего леса» создал новый ореол радиоизотопов цезия и стронция. Оказалось, что лес вокруг Чернобыля необходимо захоранивать под землей. Его нельзя сжигать.

В течение 1991–1993 гг. с воздуха Московской аэрогеофизической экспедицией с помощью АГС-съемки масштаба 1:200 000 была составлена карта распределения радиоизотопа цезия на огромной площади — около 4 млн км^2 (см. рис.1). Главным индикатором заражения стал ^{137}Cs. Распределение и осаждение радиоизотопов оказалось непредсказуемым и связанным с глобальным движением воздушных потоков. Зоны радиации обнаруживались на юге Германии (в Баварии), в Польше, Тур-

* См.: *Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин П.А. и др.* След Чернобыля в агроландшафтах Черноземья: независимая оценка 30 лет спустя // Природа. 2019. №7. С.40–51.

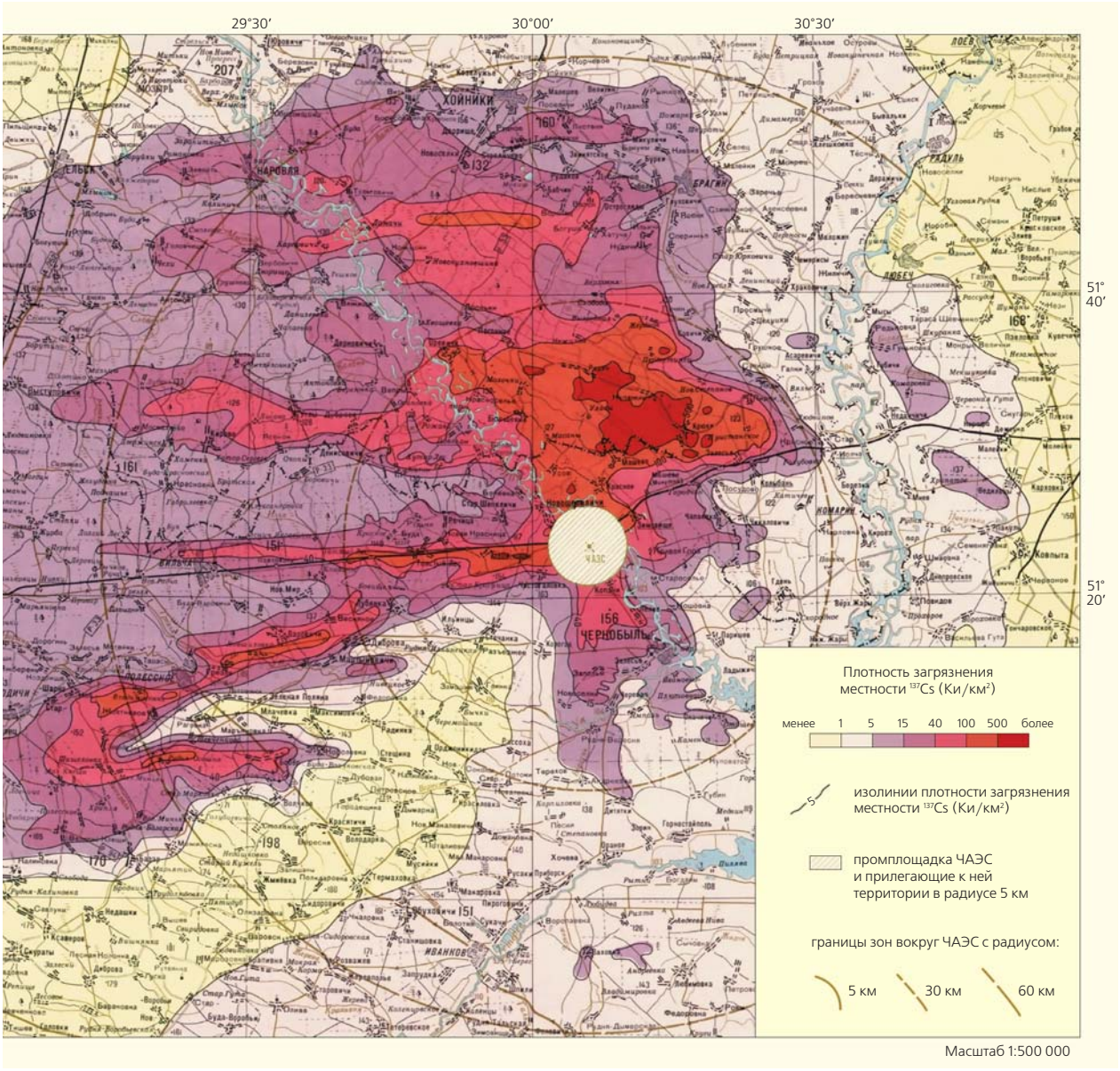


Рис.3. Карта заражения территории Украины вокруг Чернобыля [3]. На ней отражена концентрация в почве ^{137}Cs. Зона поражения сдвинута на запад за счет направления ветра во время выбросов из горящего реактора. Цезий (гамма-излучатель) положительно коррелирует с ^{90}Sr (бета-излучатель) и ^{239}Pu (альфа-излучатель), а также с продуктами его распада — ^{244}Cm и ^{241}Am (альфа- и гамма-излучатель). АГС-съемка масштаба 1:100 000.

ции, Франции, Швеции и в ряде других стран. Высокое содержание радиоактивных элементов в воздухе вызвало испуг местного населения и причинило значительный вред фермерам. В частности, Турция предъявила СССР счет за заражение чайных плантаций цезием. Горбачев, во избежание скандала, закупил этот чай. В конце 1980-х годов в СССР широко распродавался низкокачественный турецкий чай. Мало кто знал, что радиация от мешков с ним доходила до 400 мкР в час. Это в 20 раз выше нормального фона (чай оказался хорошим сорбентом цезия).

Мелкомасштабная съемка показала, что территория РФ покрыта крупными пятнами загрязнений цезием, достигающими на востоке Пензы и Саранска. Обозначилась протянувшаяся на 300 км широтная Cs-аномалия по линии Клинцы—Мценск, которая захватила юг Калужской и Тульской областей. Она возникла искусственно — при опылении с самолетов радиоактивных облаков, которые шли из Чернобыля на северо-восток, в сторону Москвы.

На карте вырисовывались две главные сильно зараженные области: собственно украинская — к северо-западу от Киева, с Чернобылем в центре, и другая — к северо-востоку от Гомеля, с двумя очагами концентрации радиоизотопов, расположенными на территории Белоруссии и отчасти в России (в Новозыбковском р-не Брянской обл.).

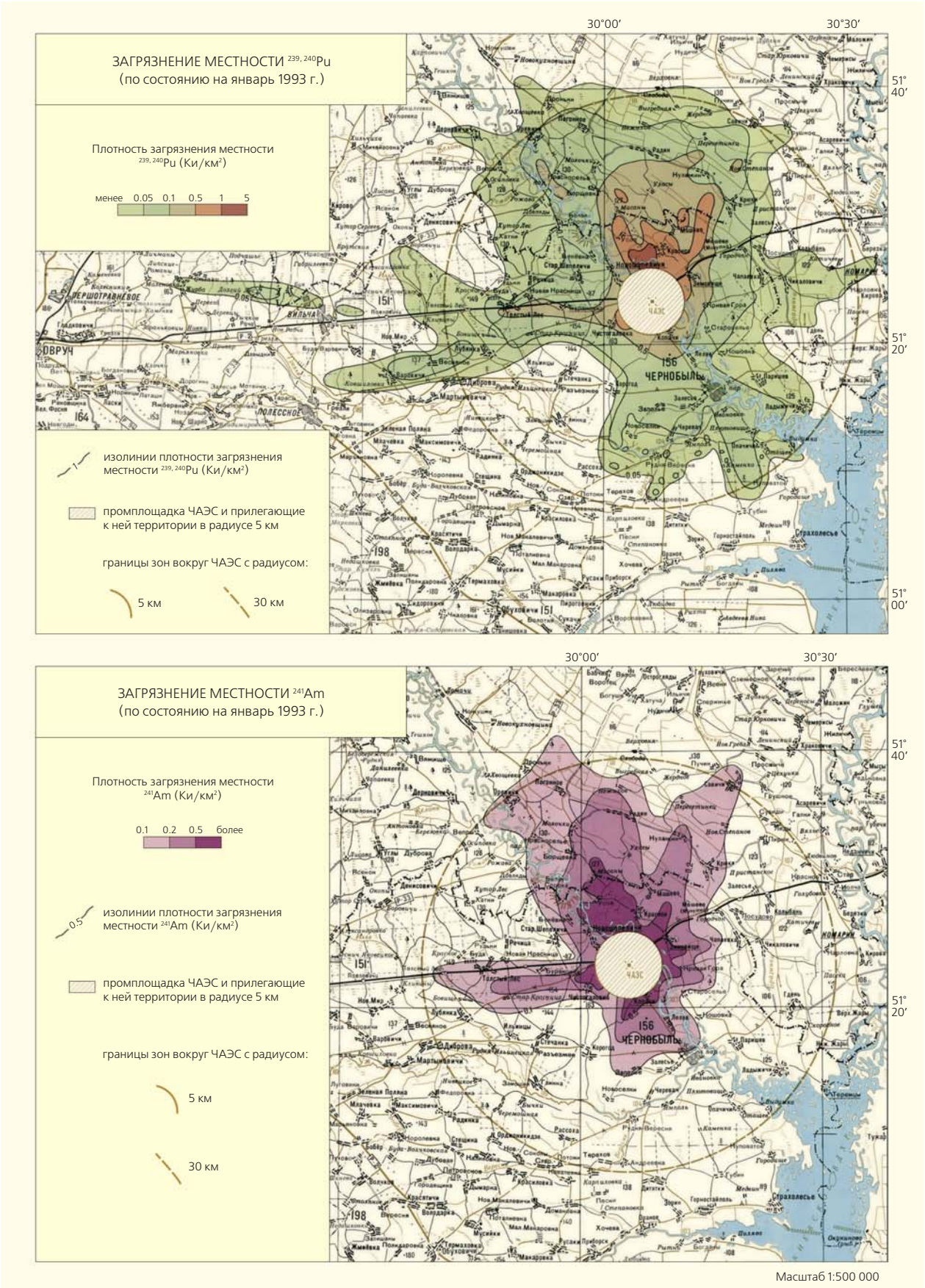


Рис.4. Карта распределения $^{239, 240}$Pu (вверху) и связанного с ним америция ^{241}Am [3], показывающая их высокую корреляцию с ореолом ^{137}Cs (см. рис.2).

Эти области, выявленные при мелкомасштабной съемке, послужили основой для детализации при проведении крупномасштабной (1:250 000) АГС-съемки с аппаратурой «Макфар» и с использованием вертолета МИ-8. Карты позволили оценить величину потерь за счет вывода зараженных территорий из хозяйственного оборота. Например, площадь с концентрацией ^{137}Cs более 40 Ки/км^2 составляла в Брянской обл. 350 км^2, а с концентрацией 15–40 Ки/км^2 — больше 2200 км^2. Такие земли не годятся для выпаса скота, а картофель или зерно с них можно применять только для производства спирта. Сильно пострадали Калужская, Тульская, Орловская, Липецкая области. Общая площадь зараженных угодий составила более 1500 км^2.

Надо учитывать, что карты — как региональные, так и детализированные — отражают уровень зараженности цезием на интервал 1991–1995 гг. Прошло более четверти века, и уровни радиации по цезию и стронцию с тех пор уменьшились почти вдвое. Но не следует обольщаться: по плутонию с T½ = 25 тыс. лет радиационная обстановка не изменилась и даже ухудшилась за счет появления из него америция и кюрия (рис.4). Смертельная доза плутония для человека ничтожна — всего 1 мг [5]. Распад плутония порождает также опасные радиоизотопы — кюрий и америций (альфа-излучатель ^{244}Cm с T½ = 18 лет и альфа- и гамма-излучатель ^{241}Am с T½ = 458 лет). Со временем эти элементы накопятся, и через 10–15 лет они будут представлять главную угрозу для всего живого. Это следует помнить, в частности, многочисленным туристам, охотно посещающим мертвый город Припять. Они должны знать, что в чернобыльской зоне радиация столь высока, что трупы животных здесь не гниют: микробов нет, они убиты излучением. Трупы высыхают и мумифицируются. Смертельно опасные зоны радиационного заражения, разбросанные в беспорядке по России, в короткий срок были обнаружены, оконтурены и дистанционно изучены. Такую работу можно выполнить только методом АГС-съемки [6].

Аналогичное исследование мы провели в Челябинской обл., на Южном Урале (рис.5). Здесь на р.Течче, притоке Оби, расположен комбинат «Маяк», где долгое время производились атомные бомбы. Режим секретности привел к многолетним нарушениям всех экологических законов. В результате возникла огромная опасность для таких крупных городов, как Челябинск, Кыштым, Касли [6]. После снятия секретности наши работы позволили оконтурить зараженную ^{137}Cs площадь, которая составила более 7 тыс. км^2. В этом контуре заключено множество радиоизотопов стронция, урана, плутония, америция, кюрия. По подсчетам специалистов, количество рассеянных радиоизотопов здесь в 4–5 раз превышает суммарную радиоактивность Чернобыля.

* * *

В заключение подчеркнем, что наиболее легко дистанционно опознаваемый гамма-спектрометрией радиоизотоп цезия неизменно указывает на возможное комплексное заражение более опасными бета- и альфа-излучателями. Их обнаружение неизмеримо сложнее и требует проведения специальных наземных работ с отбором проб грунта [7, 8].

Гамма- и бета-излучатель ^{137}Cs вызывает в организме рак крови. Бета-излучение (обычно стронций-90 с T½ = 27.7 года) накапливается в костях и вызывает саркому. Альфа-излучатели очень трудно обнаруживаются вследствие короткого пробега частиц (примерно 2 см в воздухе), и потому они наиболее опасны и коварны. К ним относятся чрезвычайно долгоживущий плутоний, а также порождаемые им кюрий и америций. К опасным долгоживущим альфа-излучателям, попадающим в экосистемы, относятся также рутений-106 и -103 и полоний-210 (T½ = 120 дней). Последний используют террористы в качестве практически незаметного, исчезающего через три года яда. Аль-

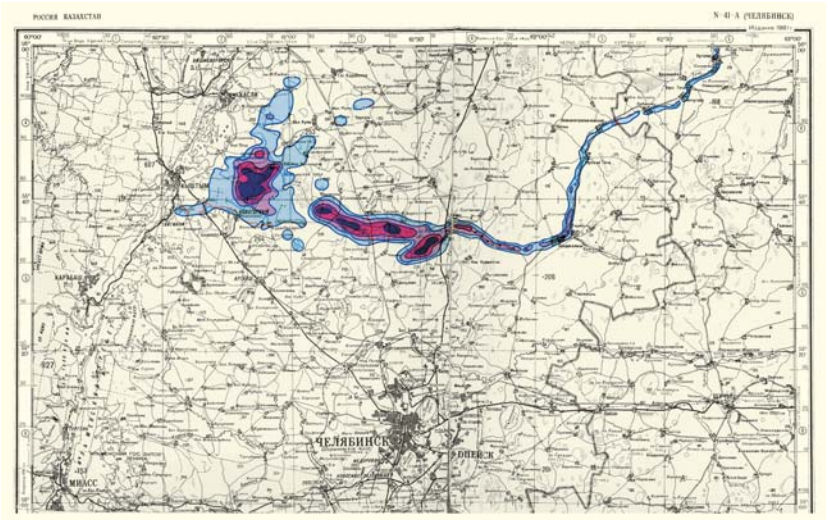


Рис.5. Зона «Маяк», Челябинская обл., Южный Урал. Постоянный слив радиоизотопов в р.Течу (приток р.Оби) и взрыв перегревшихся цистерн с жидкими радиоактивными отходами военного производства 1957 г. превратили Челябинскую обл. в один из самых экологически опасных районов России. АГС-съемка масштаба 1:100 000. Внутри контура ^{137}Cs содержатся радиоизотопы цезия, стронция, урана, плутония, америция, кюрия.

фа-излучение вызывает у человека рак слизистых и поражает глаза, пищевод, желудок, легкие.

Простые и дешевые счетчики Гейгера, обычно используемые для выявления гамма-излучения, нечувствительны к бета- и альфа-излучению. Таким образом, дистанционно обнаруживаемые гамма-аномалии ^{137}Cs становятся важными индикаторами присутствия более опасного заражения тяжелыми радиоизотопами.

В наше время на смену тяжелым воздушным судам приходят легкие автоматы-беспилотники. Они способны нести современную портативную геофизическую аппаратуру и выполнять на огромных территориях дистанционные экспрессные поисковые геолого-разведочные и экологические работы быстрее, а главное, значительно дешевле [9]. Знание приемов поиска различных типов заражения позволяет уменьшить опасность последствий неизбежных техногенных катастроф.

Вызывает удивление, что данные АГС-съемки не были опубликованы в Японии — в районе катастрофы АЭС «Фукусима». Также странным выглядит накопление здесь в цистернах гигантских количеств зараженной радиоизотопами воды — без попыток очистить ее с помощью сорбентов (угля, различных глин и др.). Но для России, Украины и Белоруссии (Чернобыль, Гомельская и Брянская области, а также зона «Маяк») — карты загрязнений ^{137}Cs остаются опасными «приветами» из недавнего прошлого, памятниками труженикам Минатома.■

Литература / References

1. *Перельман А.И.* Геохимия. М., 1989. [*Perelman A.I.* Geochemistry. Moscow, 1989. (In Russ.).]
2. *Лосев К.С.* Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. М., 2001. [*Losev K.S.* Environmental Problems and Prospects for Sustainable Development of Russia in the 21st Century. Moscow, 2001. (In Russ.).]
3. Атлас радиоактивного заражения европейской части России, Белоруссии и Украины. Ред. Ю.А.Израэль. М., 1998. [Atlas of Radioactive Contamination of the European Part of Russia, Belarus and Ukraine. Izrael Y.A. (ed.). Moscow, 1998. (In Russ.).]
4. *Линге И.И., Иванов А.Ю., Казаков К.С.* О системных мерах по расширению применения материалов на основе глин на объектах атомной отрасли. Радиоактивные отходы. 2018; 4(5): 33–40. [*Linge I.I., Ivanov A.Yu., Kazakov K.S.* On systemic measures to expand the use of clay-based materials at nuclear facilities. Radioactive Waste. 2018; 4(5): 33–40. (In Russ.).]
5. Плутоний в России. Экология, экономика, политика. Независимый анализ. М., 1994. [Plutonium in Russia. Ecology, economics, politics. Independent Analysis. Moscow, 1994. (In Russ.).]
6. *Портнов А.М.* Общая геохимия. Саарбрюккен, 2015. [*Portnov A.M.* General Geochemistry. Saarbrücken, 2015. (In Russ.).]
7. *Мелешин А.Ю.* Растворение карбонатов и выделение CO_2 в бентонитах при повышенных температурах. Радиоактивные отходы. 2019; 2(7): 65–75. [*Meleshin A.Yu.* The dissolution of carbonates and the release of CO_2 in bentonites at elevated temperatures. Radioactive Waste. 2019; 2(7): 65–75. (In Russ.).]
8. *Варлаков А.П., Баринов А.С.* Кондиционирование грунтов и иловых донных отложений, содержащих радиоактивные вещества. Радиоактивные отходы. 2019; 3(8): 61–67. [*Varlakov A.P., Barinov A.S.* Conditioning of soils and silt bottom sediments containing radioactive substances. Radioactive Waste. 2019; 3(8): 61–67. (In Russ.).]
9. Минеральное сырье. Серия методическая. Инновационные технологии прогнозирования, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых (информационно-аналитический обзор). М., 2016; 17: 55. [Mineral raw materials. A series of methodological. Innovative technologies for forecasting, searching and evaluating solid mineral deposits (informational and analytical review). Moscow, 2016; 17: 55. (In Russ.).]

Gamma Emitter ^{137}Cs as an Express Indicator of Environmental Disasters

A.M.Portnov
Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (Moscow, Russia)

Remote drone aero gammaspectrometry is necessary to establish anomalies in ^{137}Cs distribution in accidents with nuclear power plants. In the frames of such anomalies, the presence of beta- and alpha-emitters is possible. Current drones are able to carry modern portable geophysical equipment and perform remote express prospecting geological exploration in vast territories, faster and, most importantly, much cheaper than the previous ones. Different methods of searching for various types of contamination can reduce the risk of the consequences of inevitable technological disasters.

Keywords: aero gammaspectrometry, nuclear power plant accidents, ^{137}Cs anomalies, drones.

Короткие тандемные повторы

М.А.Орлов
Институт биофизики клетки РАН (Пущино, Россия)

В одной и той же молекуле ДНК уживаются два разных типа последовательностей — уникальные («неповторимые») и тандемные (повторяющиеся друг за другом копии одного фрагмента ДНК). Тандемные повторы возникают, существуют и изменяются по законам, во многом отличающимся от тех, которые действуют в мире уникальных участков ДНК. Статья посвящена своеобразию повторяющихся участков ДНК, их значению для генома в целом, а также перспективам, которые открывает получение искусственных повторяющихся последовательностей с помощью генной инженерии.

Ключевые слова: ДНК, короткие тандемные повторы, генетика, биоинженерия.

Михаил Анатольевич Орлов, аспирант и младший сотрудник лаборатории механизмов функционирования клеточного генома Института биофизики клетки РАН. Область научных интересов — генетика прокариот, биоинформатика, нейрофизиология и экологическое моделирование. Номинант конкурса «Био/мол/текст–2018».
e-mail: orlovmikhailanat@gmail.com

Как в научной, так и в популярной литературе давно закрепилась метафора «ДНК — это текст», но лишь со временем выяснилось, сколь точной и глубокой получилась аналогия. Генетические тексты биомолекул состоят из элементарных единиц — «букв» (азотистых оснований) и их естественных объединений — «слов» (нуклеотидов). Объем информации, которая в них содержится, можно точно рассчитать с помощью математических формул, и порой выясняется, что в некоторых фрагментах ДНК, как и в некоторых книгах, ее совсем мало или вовсе нет. Перенос терминов из лингвистики в молекулярную биологию дополнительно утвердили аналогию ДНК и текста. Так, генетический текст, как и литературный, можно переписывать и переводить на другой язык (воспроизводство ДНК и синтез РНК, или матричный синтез). Происходит это с большей или меньшей точностью, поэтому текст нуждается в редактировании, причем как самостоятельном — этот процесс называют пруфридингом (англ. proofreading — поиск и исправление ошибок), так и с привлечением сторонних специалистов (например, геномное редактирование с помощью CRISPR-систем*).

Подробнее остановимся еще на одном общем для генетических и языковых текстов явлении, а именно на повторах, которые далеко не всегда бывают избыточными.

Повторение — мать учения

В обыденной жизни при определенных ситуациях мы систематически слышим или читаем одни и те же фразы: например, объявление в самолете при взлете и посадке — «Пристегните ремни» или в метро при отправлении поезда — «Осторожно, двери закрываются...», вопрос в очереди — «Кто последний?» или замечание в банке — «Вот вы где карту открывали, туда и идите» и т.д. Подобные регулярные повторы могут быть эмоционально окрашены и содержать всего одно слово или даже междометие (доброжелательные — в качестве приветствия приятелю; грубые, но очень выразительные — в случае бытового травматизма). Наконец, человек может повторяться односложно для усиления уже сказанного — «...да-да-дадада», чтобы выразить сомнение — «ну-ну, ну-ну», или просто заполнить тягостное молчание — любые звуки по выбору.

* Подробнее см.: *Гоглева А.А., Артамонова И.И.* CRISPR-системы // Природа. 2019. №6. С.16–21; №7. С.3–9, а также статьи на сайте «Биомолекула» — *Коротаев А., Волкова О.* Просто о сложном: CRISPR/Cas. 24.11.2016; *Кротов А.* От слов к делу: технологию CRISPR-Cas впервые применили для лечения онкозаболеваний. 26.11.2016; *Борзов Н.* Битва века: CRISPR vs ВИЧ. 11.10.2016; *Петренко А.* Вылечить миодистрофию Дюшенна: конкуренция групп, единство методик. 16.02.2016. — *Здесь и далее примеч. ред.*

© Орлов М.А., 2019

DOI:10.7868/S0032874X19120044

Аналогичные повторы «по случаю» можно встретить и в текстах биологических. В мире растений и некоторых животных распространена, прежде всего, ситуация «А теперь давайте повторим все сначала еще раз», когда кратно увеличен (удвоен, утроен и т.д.) набор хромосом (это явление называется полиплоидия). К другим примерам повторов «по случаю» можно отнести стоп-кодоны — триплет (три нуклеотидных остатка), останавливающий в нужном месте синтез (трансляцию) белка; сигнал ядерной локализации — участок молекулы белка, необходимый для его целенаправленной доставки в ядро [1]*; концевые повторы ДНК, которые вирусы используют для встраивания собственного генома в геном хозяина, и т.д.

Начинать всегда проще с элементарного, а именно с односложных (тандемных) повторов — расположенных непосредственно друг за другом совпадающих последовательностей, которые могут быть прямыми (например, ACTG-ACTG) или обратными (ACTG–GTCA)**. Аминокислотная последовательность некоторых белков также содержит подобные участки: например, в них могут присутствовать повторяющиеся последовательности длиной около 40 аминокислотных остатков, называемые Arm-повторы (от англ. armadillo — броненосец). Однако в этом случае идеальные (т.е. не отклоняющиеся от последовательности-образца) повторы в белковых цепочках нестабильны [2]. О другом интересном примере повторяющихся элементов структуры в белках речь пойдет позже.

Какие бывают повторы

От тандемных повторов ДНК следует отличать повторяющиеся последовательности другого типа — диспергированные, т.е. распределенные по геному повторы. Такие последовательности не примыкают друг к другу непосредственно, а разделены некоторыми отличающимися участками ДНК.

В зависимости от размера тандемные повторы разделяют на три типа — сателлитные, мини- и микросателлитные. Сателлиты — самые большие как по размеру повторяющейся последовательности, так и по общей протяженности участки ДНК; на их долю приходится существенная часть генома в целом. Длина минисателлитов — 10–60 пар нуклеотидов (п.н.), а микросателлитов — 1–6 п.н.; и те и другие группированы по 5–50 штук.

Слово «сателлит» (англ. satellite — спутник) в названиях этих сходных групп последовательностей возникло в связи с тем, что при градиентном ультрацентрифугировании (методике, позволяющей разделять молекулы с разными физическими свойствами) сателлитная ДНК образует отдельную фракцию. Причина кроется в том, что такие последовательности отличаются от основной части генома по GC-составу, т.е. по доле гуанина (G) и цитозина (C). Впоследствии были обнаружены «скрытые» сателлиты — истинные по GC-составу сателлиты, которые невозможно отделить от основной массы ДНК. Таким образом, поэтический термин описывает техническую сторону получения первых образцов данных последовательностей и не имеет биологического смысла.

Все три разновидности тандемных повторов характерны для генома эукариот и находятся, главным образом, в концевых (теломерных) и средних (центромерных) частях хромосом. Сателлитная ДНК отличается от мини- и микросателитных повторов не только бóльшим числом последовательностей, но и локализацией в гетерохроматине — плотно упакованной и слабо транскрибируемой части генома. Последовательности же двух других типов содержатся в эухроматине (активном хроматине) — деспирализованной области хромосом.

Доля повторов в эукариотических геномах впечатляет: на повторяющиеся последовательности разного типа приходится почти половина генома человека [3]. Общее их количество (в пересчете на уникальные последовательности) превышает 1 млн, и многие из их числа к тому же очень изменчивы. Превышение определенного числа тандемными повторов (экспансия) может вызвать такие тяжелые заболевания, как синдром хрупкой Х-хромосомы, различного рода атаксии, многие формы амиотрофического латерального склероза и болезнь Хантингтона.

Терминологический хаос

Хотя тандемные повторы открыты уже более полувека назад, до сих пор происходит путаница в терминологии. Мини- и микросателлитные повторы могут совместно обозначаться как локусы с варьирующим числом тандемных повторов (variable number of tandem repeat locus, VNTR). Однако VNTR и минисателлитные повторы могут использоваться как синонимы, при этом микросателлиты называют и короткими тандемными повторами (short tandem repeats, STRs), и простыми повторяющимися последовательностями (simple sequence repeats, SSRs) [4]. Но и это еще не все...

Несмотря на то что все VNTR могут рассматриваться как минисателлиты, не все из них будут относиться к VNTR. С одной стороны, количество повторов в VNTR может варьировать у разных индивидов, с другой — некоторые, отличные от VNTR,

* Популярный пересказ этой статьи опубликован на сайте «Элементы»: *Башмакова В.* Для ядерного импорта мембранных белков нужна линкерная последовательность. 05.07.2011.

** Подробнее см.: *Панчин А.Ю.* Волосатики и степени свободы в эволюции белков // Природа. 2019. №8. С.68–73.

минисателлиты несут повторы, представленные одним и тем же количеством копий у всех представителей вида, имеющих такой тандемный повтор в геноме.

Дополнительные трудности вызваны созвучностью всех этих названий с совершенно другим феноменом — сателлитными (спутниковыми) районами акроцентрических хромосом, у которых центромеры расположены близко к одному из концов, поэтому плечи у таких хромосом резко отличаются по размеру. Очевидно, что такое использование одного и того же термина для обозначения разных явлений — крайне неудачное совпадение [5]. Последний штрих в терминологический хаос вносят исследователи разных специальностей (криминалисты, генетики растений, микробиологи и т.д.), когда один и тот же тип последовательностей обозначают разными терминами [6].

Зачем повторяться?

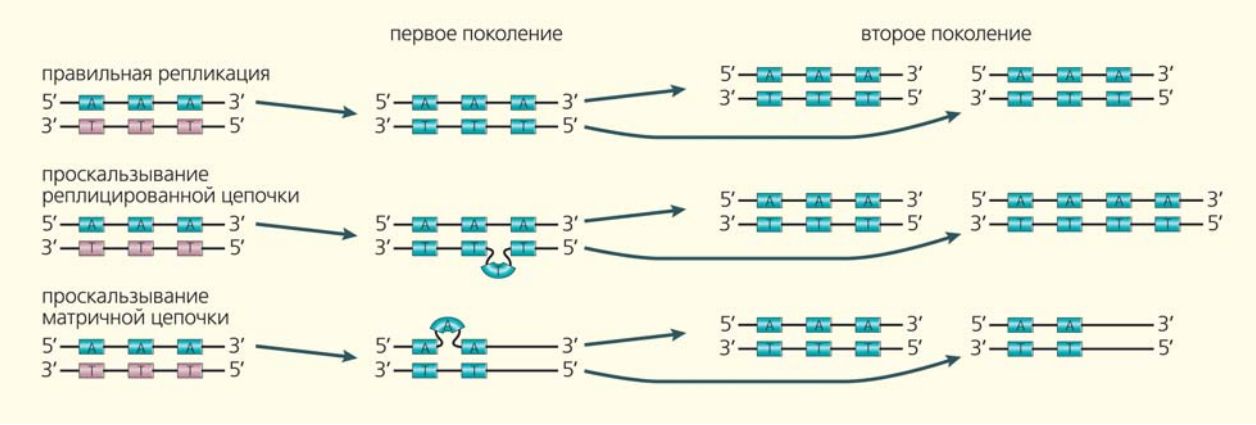
Для чего же нужны повторы, скажем, те же VNTR, нашему (или какому-то другому эукариотическому) целесообразно устроенному организму? И как их можно использовать?

Изучать VNTR нетрудно. С помощью доступных молекулярных методов можно выявить число тандемных повторов в определенном гене любого из нас — причем их может оказаться и 3, и 15 без заметных отличий в функционировании соответствующего гена. Известна значительная изменчивость кратности повторов, т.е. количества копий повторяющейся единицы последовательности. Это связано с тем, что тандемные повторы своего рода «горячие точки» мутагенеза. Вероятность возникновения «ошибок» в таких текстах превосходит примерно в 100 тыс. раз вероятность стандартных «опечаток» (точечных мутаций «неповторимой» ДНК).

Причина этого связана с так называемыми ошибками репликации при редактировании (slipped strand mispairing). Поскольку тандемные повторы представляют собой расположенные одна за другой идентичные последовательности, две комплементарные цепочки дуплекса ДНК могут принять неправильное расположение друг относительно друга. При этом происходит как бы проскальзывание одной цепи относительно другой (от англ. to slip — проскользнуть, сдвинуться).

В ходе репликации первый повтор одной цепи, скажем, GTAC, может оказаться спаренным с первым повтором CATG другой цепи, но может также быть связан и со вторым, третьим и т.д. Некоторые последовательности-повторы могут быть вытеснены в сторону и в результате этого оказаться «вне игры», в данном случае — транскрипции. В связи с этим нарушением комплементарности ферменты репликации могут допускать ошибки при синтезе копии ДНК — а именно «потерять» или добавить дополнительные копии повторов. В этом случае возникают специфические мутации — условные «слова» остаются правильными, а вот их число меняется. Поскольку затронутой оказывается значительная часть последовательности (не единичный нуклеотид), ДНК приобретает довольно существенные изменения. Именно поэтому они избирательно возникают только в тех участках генов, которые менее чувствительны к заменам и способны «стерпеть» такое грубое изменение последовательности.

Любопытно, что ошибкам репликации при редактировании могут противодействовать точечные мутации внутри последовательности отдельного повтора. Это справедливо даже в том случае, если произошла замена на синонимичный (т.е. кодирующий ту же аминокислоту) кодон. Эти однобуквенные замены приводят к возникновению изменения, заметного на однородном фоне точных по-



Ошибки репликации при редактировании, вызывающие изменение экспрессии гена. Неправильная гибридизация цепей ДНК в области тандемных повторов при репликации и ошибки системы репарации (нужной для исправления таких случаев) могут привести к вставке (экспансии) или удалению (делеции) одного или нескольких повторов [7].

второв. Благодаря такой метке выполняющая репликацию клеточная машинерия окажется способна различить данное положение и избежать проскальзывания. В результате обе цепи дуплекса будут сориентированы друга относительно друга надлежащим образом. С течением времени и новых репликаций в таком стабильном тандемном повторе накапливаются небольшие изменения, в связи с чем он все больше отклоняется от исходного.

Таким образом, последовательность тандемных повторов может постепенно исчезать. Возможен и противоположный случай, когда удаление (делеция) повтора приводит к исчезновению имеющегося однобуквенного отличия-мутации, а последующая неправильная гибридизация — привести к синтезу точного повтора.

Это предоставляет возможность использовать уровень «безошибочности» тандемного повтора для того, чтобы установить, насколько интенсивному отбору он подвергался в прошлом. Если неточностей окажется немного, это свидетельствует о многочисленных вставках (называемых в этом случае экспансиями) и выпадениях (делециях). Если же в тандемном повторе накопилось множество ошибок, то отбор, по-видимому, не уделял особого внимания такой последовательности [7].

Твердые ткани мягкотелого хищника

Вслед за описанием какого-либо молекулярно-генетического феномена всегда возникает вопрос о его воспроизведении в искусственных условиях, а также о возможности применения. Итак, какую пользу можно ожидать от получения искусственных тандемных повторов?

Имея представление о матричном синтезе, нетрудно догадаться, что тандемные повторы в кодирующей ДНК могут соответствовать тандемным повторам в последовательности белка. Подобные интересные белки были обнаружены у кальмаров, которые вдохновляют многих исследователей своими «суперспособностями» — сложно устроенной нервной системой, способностью маскироваться за счет отражающих тканей и видеть в кромешной тьме на больших глубинах и т.д. В данном случае речь идет о твердых тканях этих ловких и при этом мягкотелых хищников, которые привлекли внимание материаловедов.

Клюв кальмаров, внешне напоминающий птичий и выглядящий зловеще, — биологический композит, содержащий богатый гистидином белок-матрицу и хитиновые волокна. Другое опасное оружие кальмара — острые зубцы роговых колец, которые расположены внутри присосок на щупальцах. Такие зубцы состоят из твердого биогенного материала, имеющего эластичные модули. В основе материала — белок с сегментированной структурой, который включает чередующиеся кристаллические и аморфные домены [8].

Меняя структуру белка зубцов роговых колец, можно получить материал с заданной растяжимостью, жесткостью, прочностью, электропроводностью, прозрачностью и даже способностью залечивать дефекты. Области применения таких материалов могут быть самыми разными — от хирургических нитей до сенсоров.

Эти удивительные белки можно получать из животного сырья, но лучше, разумеется, использовать методы генетической инженерии. С точки зрения создания новых материалов это предоставляет ряд преимуществ при получении структурных фибриллярных белков. Прежде всего, состав и размеры аминокислотной последовательности такого белка можно строго контролировать. В этом случае возможно получение идентичных молекул и однородного материала. Далее структуру молекулы белка можно изменять, заменяя обычные функциональные группы (тиоловые, фенольные и аминогруппы) на более экзотические (например, галогенид, азид, олефин, оксим, гидразон, бороновый эфир). Наконец, в состав таких рекомбинантных белков могут быть введены полипептиды со специфическими свойствами (антибактериальными, адгезивными, со склонностью к переходам «спираль — клубок»), что открывает исключительно большие возможности по созданию новых материалов с ценными заданными свойствами, которые к тому же можно сочетать между собой. Отдельным важным плюсом для применения таких соединений в медицине становится их биосовместимость и биоразлагаемость.

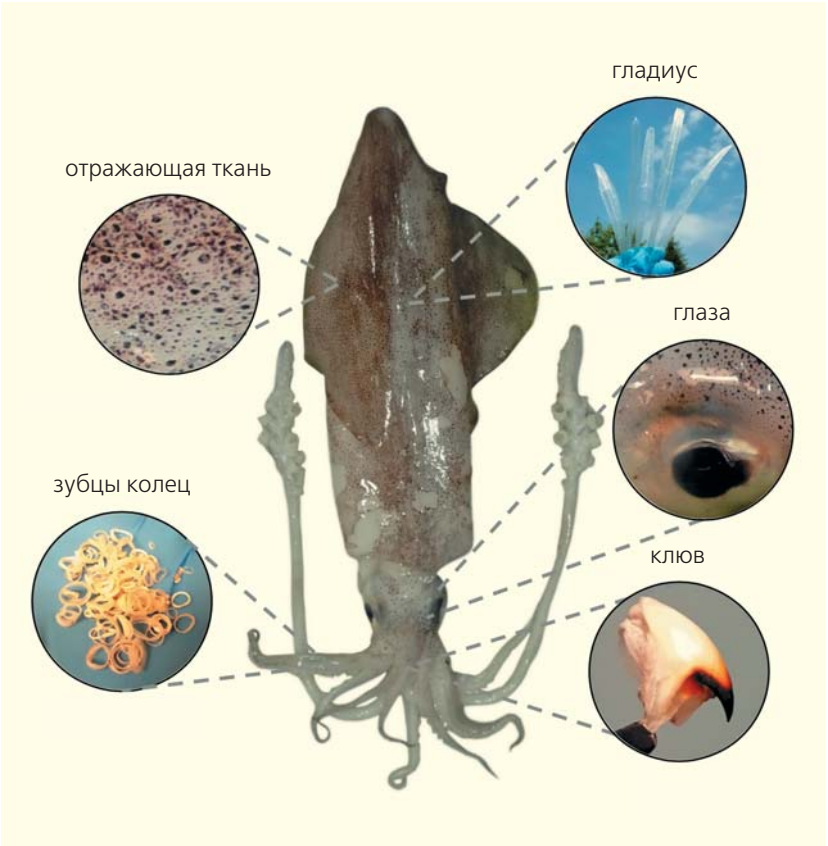
Последовательность белка кальмара содержит два сильно различающихся модуля. Главная повторяющаяся единица-мономер состоит из чередующихся друг за другом областей — кристаллизующейся, которая содержит бета-листы, стабилизированные водородными связями, и аморфной. Кристаллическая часть каждого повтора богата остатками аланина и гистидина, а аморфная — тирозина и глицина. Последовательность, соединяющая два различных участка повтора, обычно содержит пролин. Такая система подразумевает ограниченное число типов аминокислот, поскольку далеко не все остатки могут в нее «вписаться». В связи с этим перебор возможных последовательностей также сравнительно невелик.

Наступление светлого будущего, в котором люди используют легкие, прочные и «самозалечивающиеся» материалы на основе белка кальмара задерживают некоторые технические трудности, возникающие при конструировании повторяющихся последовательностей.

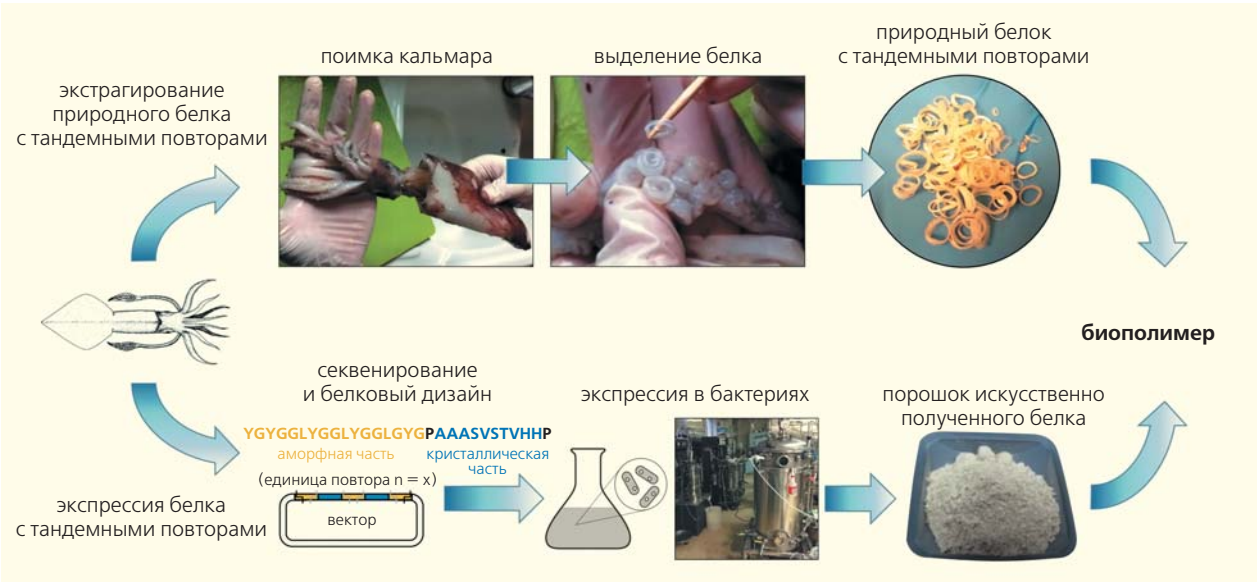
Проблемы на уровне конструирования ДНК заключаются в следующем. Прежде всего, разработ-

ка искусственных генов, которые кодируют интересующие нас белки, может оказаться неудачной или приводить к получению неспецифических продуктов. В настоящее время доступны три подхода к получению генов тандемных повторов.

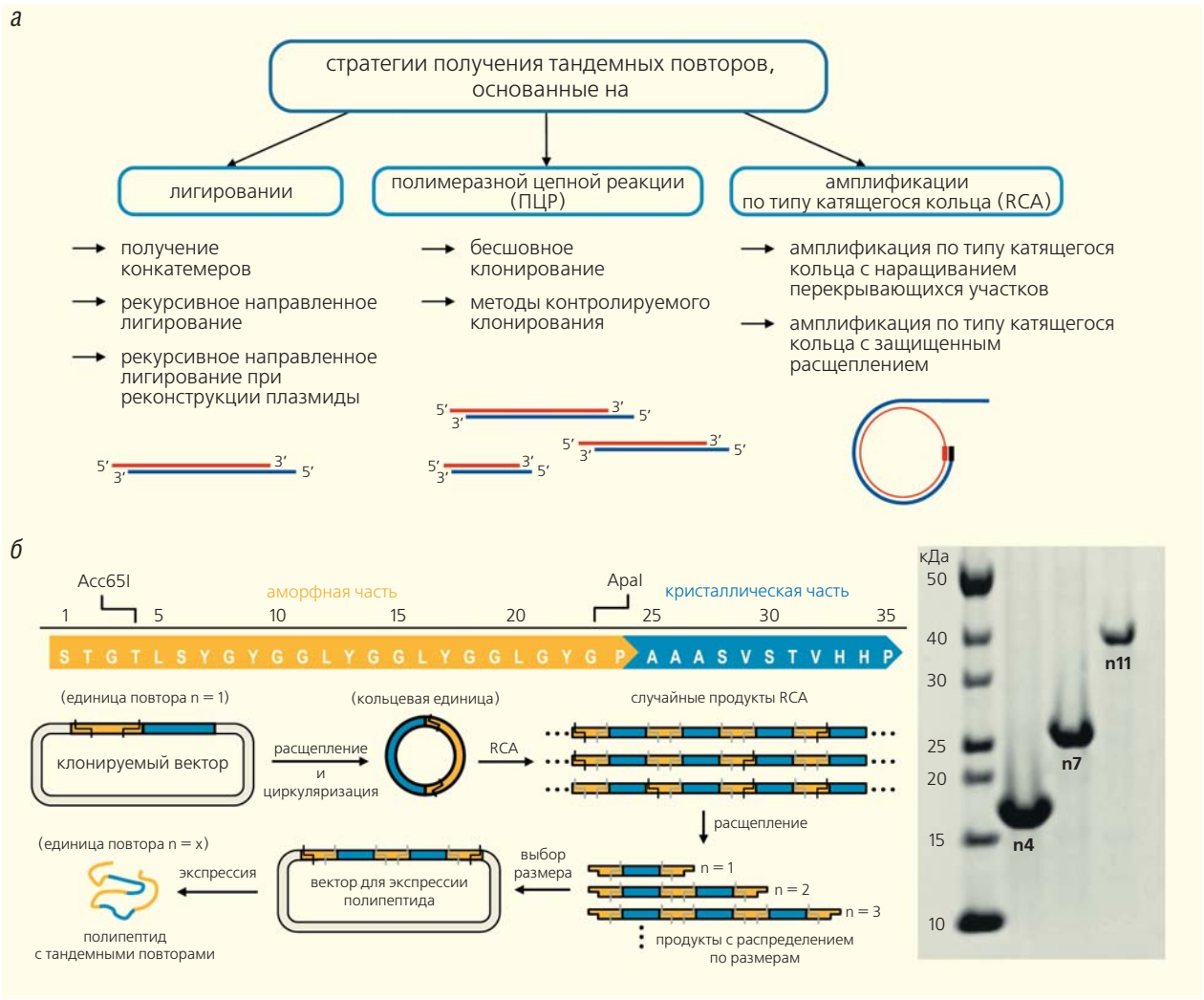
В прошлом активно применяли стандартное клонирование, при котором мономеры поочередно, один за другим, соединяются в длинные цепочки-конкатемеры. Однако данный метод — трудоемкий и занимает много времени [9]. Новые методики основаны на «бесшовном» клонировании (seamless cloning) и рекурсивном направленном лигировании (recursive directional ligation, RDL) [10–12]. Однако и они включают ряд этапов, которые сложно проводить параллельно, и не предоставляют возможность контролировать процесс в случае молекул с различным молекулярным весом. Для преодоления этих затруднений разработали метод на основе амплификации ДНК по механизму катящегося кольца с удлинением перекрывающихся концов (overlap extension rolling circle amplification, OERCA). Он позволяет производить параллельный синтез генов, кодирующих по-



Арсенал обыкновенного кальмара (*Loligo vulgaris*) [8]. У этого головоногого моллюска все десять щупальцев (восемь коротких и два длинных) выстланы многочисленными присосками, оснащенными зубцами роговых колец. Тело кальмара поддерживается гладиусом — жесткой пластиной, состоящей из хитина. Зрение у кальмаров тоже отменное — сетчатка их глаз содержит фоторецептор родопсин, позволяющий с высокой чувствительностью реагировать на поляризованный свет и хорошо видеть на больших глубинах. Клюв, зубцы роговых колец и гладиус, обладающие превосходной механической прочностью, вдохновляют материаловедов, разрабатывающих современные материалы.



Получение белков с тандемными повторами из природного источника (кальмара) [8].



Дизайн белков с тандемными повторами [8]: *а* — три стратегии синтеза гена с тандемными повторами; *б* — схема метода PD-RCA, разработанного для создания белков с тандемными повторами, напоминающих белок зубцов роговых колец кальмара. На вставке внизу — результаты электрофореза в полиакриламидном геле (SDS-Page) биосинтетических белков зубцов роговых колец с 4, 7 и 11 повторами.

вторяющиеся последовательности подобных эластину полимеров-белков [13]. Недавно предложили еще один метод, позволяющий конструировать протяженные последовательности повторов — защищенное расщепление при амплификации катящегося кольца(protected digestion of rolling circle amplification, PD-RCA) [14].

Благодаря PD-RCA отдельный повтор, имеющий замкнутую форму, может непрерывно нарабатываться ферментом полимеразой в присутствии нуклеотида дезокси-ЦТФ (dCTP), а также его метилированной формы. При этом содержащие цитозин сайты рестрикции (на которые способны избирательно действовать соответствующие ферменты нуклеазы) окажутся расщепленными, а защищенные, т.е. содержащие 5-метилцитозин, останутся нетронутыми. В связи с этим становится возможным получение последовательностей, содержащих тандемные повторы с варьирующими размерами. Преимущество PD-RCA заключается в том, что данный метод позволяет в ходе одной реакции синтезировать такие олигомерные продукты различающейся длины. Это делает доступным создание большого набора (библиотеки) генов, кодирующих белки с различным количеством повторяющейся последовательности.

Недавно на основе этого подхода синтезировали содержащие тандемные повторы белки, основой для которых послужил упомянутый белок кальмара. Цель при этом была поставлена фундаментальная: выявить связь аминокислотной последовательности и структурных свойств, в том числе распознать участки последовательности, определяющие способность белка к самозалечиванию при повреждениях [8].

Остается надеяться, что некоторые технические трудности на пути создания материалов на основе таких бионических белков (включая недо-

статочную чистоту продукта, а также некоторую дороговизну) будут преодолены. Тогда, пользуясь ножом или сверхпрочной тканью, мы сможем мечтательно вспоминать, как выглядит стремительно плывущий в океанских глубинах кальмар — изобретатель этих материалов. Более того, целая область самобытных последовательностей ДНК, которые представляют собой повторяющиеся небольшие участки, возникающие и эволюционирующие по своим особым законам, принесет нам много интересных открытий и возможностей их приложения.■

Литература / References

1. *Meinema A.C., Laba J.K., Hapsari R.A. et al.* Long unfolded linkers facilitate membrane protein import through the nuclear pore complex. Science. 2011; 333(6038): 90–93. DOI:10.1126/science.1205741.
2. *Jorda J., Xue B., Uversky V.N. et al.* Protein tandem repeats — the more perfect, the less structured. FEBS Journal. 2010; 277(12): 2673–2682. DOI:10.1111/j.1742-4658.2010.07684.x.
3. *Richard G.-F., Kerrest A., Dujon B.* Comparative genomics and molecular dynamics of DNA repeats in eukaryotes. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2008; 72(4): 686–727. DOI:10.1128/MMBR.00011-08.
4. *Turnpenny P., Ellard S.* Emery's Elements of Medical Genetics. Edinburgh; N.Y., 2005.
5. *Фогель Ф., Мотульски А.* Генетика человека: Проблемы и подходы. В 3-х т. Ред. Ю.П.Алтухов, В.М.Гиндилис. М., 1989; 1. [*Vogel F., Motulsky A.* Human Genetics: Problems and Approaches. Altuchov Yu.P., Gindilis V.M. (eds). Moscow, 1989; 1. (In Russ.).]
6. *Belkum A. van, Scherer S., Alphen L. van, Verbrugh H.* Short-sequence DNA repeats in prokaryotic genomes. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 1998; 62(2): 275–293. DOI:1092-2172/98/$04.0010.
7. *Myers P.* Tandem repeats and morphological variation. Nature Education. 2007; 1(1): 1.
8. *Pena-Francesch A., Domeradzka N.E., Jung H. et al.* Research Update: Programmable tandem repeat proteins inspired by squid ring teeth. APL Materials. 2018; 6(1): 010701. DOI:10.1063/1.4985755.
9. *Cappello J., Crissman J., Dorman M. et al.* Genetic engineering of structural protein polymers. Biotechnol. Prog. 1990; 6(3): 198–202. DOI:10.1021/bp00003a006.
10. *McMillan R.A., Lee T.A.T., Conticello V.P.* Rapid assembly of synthetic genes encoding protein polymers. Macromolecules. 1999; 32(11): 3643–3648. DOI:10.1021/ma981660f.
11. *Meyer D.E., Chilkoti A.* Genetically encoded synthesis of protein-based polymers with precisely specified molecular weight and sequence by recursive directional ligation: examples from the elastin-like polypeptide system. Biomacromolecules. 2002; 3(2): 357–367. DOI:10.1021/bm015630n.
12. *Tokareva O., Michalczechen-Lacerda V.A., Rech E.L. et al.* Recombinant DNA production of spider silk proteins. Microbial. Biotechnology. 2013; 6(6): 651–663. DOI:10.1111/1751-7915.12081.
13. *Amiram M., Quiroz F.G., Callahan D.J. et al.* A highly parallel method for synthesizing DNA repeats enables the discovery of 'smart' protein polymers. Nature Mater. 2011; 10: 141–148. DOI:10.1038/nmat2942.
14. *Jung H., Pena-Francesch A., Saadat A. et al.* Molecular tandem repeat strategy for elucidating mechanical properties of high-strength proteins. PNAS. 2016; 113(23): 6478–6483. DOI:10.1073/pnas.1521645113.

Short Sequence Repeats

M.A.Orlov
Institute of Cell Biophysics, RAS (Pushchino, Russia)

The very same DNA molecule comprises sequences of two kinds that are quite different. The first are unique in terms of nucleotide composition and the second represents tandem repeats following one directly after another. Tandem repeats originate, exist, and evolve according to principles deviating from the ones of unique DNA regions. Here we address the peculiarities of short tandem repeats, their genomic roles, and perspectives that stems from their artificial development by means of gene engineering.

Keywords: DNA, short sequence repeats, genetics, bioengineering.

Истоки, развитие и расцвет флорентийской мозаики в Западной Европе

В.И.Прыгов[1,2], А.Ю.Беляков[2,3]

[1]Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (Москва, Россия)

[2]Государственный геологический музей имени В.И.Вернадского (Москва, Россия)

[3]Творческая мастерская флорентийской мозаики (Москва, Россия)

Ex-voto Козимо II Медичи (1617–1624). Мастерские великого герцога Тосканского. Палаццо Питти, Музей серебра, Флоренция. Размеры 54.5×64.5 см.

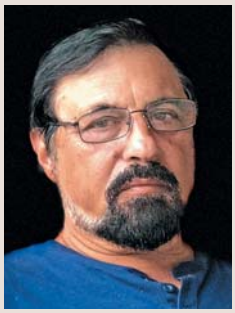
© Прыгов В.И., Беляков А.Ю., 2019

DOI:10.7868/S0032874X19120056

Флорентийская, или мозаика из твердых камней (Pietre Dure), сформировалась как самостоятельное художественное явление к началу XVII в. Истоки этого вида искусства восходят к античной традиции работы с разными видами мрамора. Главным нововведением, привнесенным эпохой Ренессанса в технику каменной мозаики, стали фигуративные изображения и применение минералов, твердость которых существенно превышала твердость мрамора. В мозаичной мастерской Galleria dei Lavori, основанной Фердинандо Медичи во Флоренции в 1588 г., основные жанры «живописи в камне» сложились уже в первые десятилетия ее деятельности. В дальнейшем эта мастерская стала своеобразным экспортером идей и технологий, а также исполнителем заказов королевских домов Европы. Роскошные мозаичные панно, на создание которых нередко требовалось несколько лет, идеально подходили для возвеличивания тонкого просвещенного вкуса, богатства и политического могущества государей. Именно поэтому произведения флорентийской мозаики украшали в XVII–XVIII вв. дворцовые интерьеры почти всех европейских столиц, а впоследствии стали предметами гордости крупнейших мировых музейных собраний: Государственного Эрмитажа, Лувра, Прадо, Метрополитена, Хофбурга, Музея Виктории и Альберта. Основные этапы истории Pietre Dure рассмотрены в данной статье на примерах наиболее значимых памятников из этих музеев.

Ключевые слова: флорентийская мозаика, Pietre Dure, мозаичные панно, твердые камни, агат, яшма, Медичи.

Вадим Игнатиевич Прыгов, кандидат искусствоведения, доцент Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе, эксперт Государственного геологического музея имени В.И.Вернадского РАН. Область научных интересов — история искусств, минералогия.
e-mail: vadim-pr@yandex.ru



Андрей Юрьевич Беляков, кандидат геолого-минералогических наук, эксперт того же музея, руководитель Творческой мастерской флорентийской мозаики. Круг научных интересов — минералогия, история камнерезного искусства.
e-mail: topus.belyakov@gmail.com

Уже с Античности мозаики становятся важным элементом монументальной архитектурной декорации. Материалом для них служили небольшие одинаковые кусочки (тессеры) кубической формы из стекла, мрамора или пасты. Собранные с их помощью изображения назывались римлянами opus tessallatum — набор из кусочков*. Для другого вида античных мозаик, преимущественно геометрического характера, обычно использовались полигональные мраморные пластины разной окраски и величины. Такой мозаичный набор получил название opus sectile — резная работа или pavimentum — пол.

В эпоху Возрождения данный вид мозаичного искусства был доведен до виртуозного артистизма. Используя различные пластины из мрамора и твердых камней, мастера стали создавать фигуративные изображения, соперничавшие с живописными. Такая техника (commesso — инкрустация) художественной мозаики из поделочных камней складывалась во Флоренции на протяжении XVII–XVIII вв. и получила название Pietre Dure, или (в отечественной литературе) флорентийская мозаика. Произведения «живописи в камне» обрели станковую форму в виде столешниц, панно-вставок в мебели, элементов декорации в зонах интерьера. Трудоемкость изготовления большого количества пластин из твердого камня (на создание мозаичной столешницы, например, уходили годы), потребность в запасах исходных материалов с широкой гаммой цветов и фактур обусловливали единичный характер и высокую стоимость готовых работ. Именно поэтому основной круг заказчиков составили представители европейских королевских домов и высшей аристократии.

Произведения в технике Pietre Dure ныне входят в крупнейшие мировые музейные собрания. Они есть в Государственном Эрмитаже, Лувре, Версале, Прадо, Метрополитен-музее, Хофбурге, музее Виктории и Альберта. История искусства флорентийской мозаики не завершилась в XX в., и в наше время появляются яркие самобытные произведения, выполненные уже на новом технологическом уровне. Основные сюжеты этой увлекательной истории будут последовательно рассказаны нами в тематическом цикле статей. Здесь мы рассмотрим возникновение и расцвет Pietre Dure в Западной Европе.

* *Ферсман А.Е.* Очерки по истории камня. Т.1. М., 1954; Т.2. М., 1961.

Истоки

В античной традиции использование декоративного камня для облицовки зданий имело особую значимость. Уже в эпоху ранней империи римляне широко применяли мрамор, для которого характерно большое разнообразие цветовых оттенков и текстур. Этот материал стал олицетворением богатства, роскоши и власти. В многочисленных источниках, в частности в сочинении Гая Светония Транквилла «Божественный Август», сказано: «Он так отстроил город, что по праву гордился тем, что принял Рим кирпичным, а оставляет его мраморным»*. Политический аспект помпезной имперской архитектуры как показателя экономической мощи метрополии имел для Рима первостепенную важность. Многочисленные провинции империи пытались подражать лучшим столичным образцам, отдавая должное декоративному камню. В эпоху раннего Средневековья в Риме и других италийских городах при строительстве христианских базилик и различных общественных сооружений часто использовались колонны, капители, облицовочные плиты из античных построек.

Флорентийская мозаика — одна из граней уникального феномена ренессансной придворной культуры. В период позднего Возрождения в Италии сложились представления о «государстве эстетического сияния», основанные на античных идеалах. В таком государстве огромная роль отводилась не только «большим искусствам» (архитектуре, скульптуре, живописи), но и декоративно-прикладным. Мастера-камнерезы, ювелиры, мебельщики стремились в своих произведениях совместить функциональность с гармоничностью и изысканностью форм и пропорций, а также с невиданной роскошью исполнения. Художественное великолепие утилитарных вещей, само по себе ценимое во все времена, тогда обрело эстетическую самостоятельность, не связанную с религией или магией. Знать ренессансной Италии последовательно стремилась к олицетворению в окружающих их предметах «рая на земле». Кроме того, придворная роскошь служила и представительским целям: художественные, а также необработанные драгоценности специально демонстрировали иностранным послам и правителям в качестве символов власти и процветания. Коллекционирование античных артефактов, природных диковин и минералов тоже расценивалось как необходимый атрибут, добавлявший величия.

Ренессансное искусство старалось в перманентном состязании с лучшими античными образцами не только приблизиться к ним, но и превзойти их. В коллекциях итальянских правителей очень часто соседствовали работы современных и древних мастеров. Столь же обычны были античные геммы, каменные чаши и сосуды, вставленные в новые драгоценные оправы. Соперничество распространялось и на виртуозность в подражании природе, в стремлении создать безупречную «иллюзорную реальность». Именно такие задачи ставились и перед мозаичистами-камнерезами позднего Возрождения.

Шедевры мозаичного искусства

В 1588 г. великий герцог Тосканский Фердинандо I Медичи (1549–1609) учредил камнерезную мастерскую Galleria dei Lavori, располагавшуюся во Флоренции, в палаццо Уффици. В ней он собрал лучших мастеров, преимущественно из Милана — важнейшего центра этого вида искусства в то время. Вскоре деятельность мастерской в значительной степени оказалась сосредоточенной на комплексе работ по декоративному оформлению семейной усыпальницы Медичи в соборе Сан-Лоренцо — капеллы Принцев (архитектор Маттео Ниджетти), строительство которой было начато в 1604 г. (рис.1). Однако герцогские мастерские начали работу над убранством интерьера еще в 1589 г. По замыслу создателей, в центре капеллы должен был располагаться алтарь, декорированный мозаичными панно и резными скульптурными фигурами. Роскошная декоративная облицовка стен разными видами мрамора соответствовала лучшим ренессансным образцам.

Примером более ранних достижений римской камнерезной школы служит стол Фарнезе (1565–1573) из Метрополитен-музея в Нью-Йорке (рис.2). Мозаичная столешница располагается на трех мраморных опорах, декорированных скульптурами сфинксов, гротесковыми мужскими полуфигурами, листьями аканта и владельческими гербами кардинала Алессандро Фарнезе (1520–1589). Изготовленный по проекту Джакомо да Виньола для строящегося палаццо Фарнезе, стол первоначально был установлен в главном зале, среди произведений античных и ренессансных художников.

Из римских памятников, прежде всего терм Каракаллы, был использован и материал — различные виды цветного мрамора и алебастровые крупные парные пластины египетского происхождения. В этом была вполне определенная символика и для кардинала, и для архитектора: новый палаццо наследует величие и роскошь Вечного города — столицы исчезнувшей империи. Также символично, что мозаичную столешницу выполнил Жан Менар, уроженец Франции, прозванный в Италии Джованни Минардо, — один из лучших мастеров-камнерезов, работавших в Риме в 1560-е годы.

* *Транквилл Гай Светоний*. Жизнь двенадцати цезарей. Книга вторая: Божественный Август / Перевод М.Л.Гаспарова. М., 1993.

Рис.1. Капелла Принцев (Cappella dei Principi; начата в 1604 г.). Архитектор Маттео Ниджетти. Собор Сан-Лоренцо, Флоренция.

Главными нововведениями, привнесенными эпохой Ренессанса в образный ряд каменной мозаики, стали фигуративные изображения и применение минералов (главным образом яшмы, агата и лазурита), твердость которых существенно превышала твердость мрамора. Отсюда и происхождение термина Pietre Dure — твердые камни, который используется во всем мире для обозначения флорентийской мозаики.

В Западной Европе в эпоху Возрождения особую значимость получили изображения родовых (или государственных) гербов. Весьма характер-

Рис.2. Столешница Фарнезе (Рим, 1565–1573). Проект Джакомо да Виньолы, мозаика Жана Менарда. Метрополитен-музей, Нью-Йорк (инв. №58.57a—d).

Рис.3. Марьяжный герб Медичи — герцогов Лотарингских (около 1589 г.). Мозаика из мрамора. Мастерские великого герцога Тосканского. Музей флорентийской мозаики, Флоренция.

но, что одним из первых заказов, выполненных придворной камнерезной мастерской Galleria dei Lavori, стал марьяжный герб Медичи и герцогов Лотарингских (рис.3). Мозаика создавалась по случаю свадьбы Фердинандо I Медичи и Кристины Лотарингской (1565–1637), которая состоялась в 1589 г. Материалом для мозаики послужили различные виды мрамора из античных построек, а также лазурит, необходимый для ярко-синих элементов герба. В выборе материала и по стилистике исполнения эта мозаика очень близка панелям с гербами городов великого герцогства Тосканского, которые изготавливались в то же самое время для декоративного оформления интерьера (в основании пилястр) капеллы Принцев (рис.4).

Рис.4. Деталь декора основания пилястры в капелле Принцев. Герб города Монтепульчано, входящего в Великое герцогство Тосканское. Собор Сан-Лоренцо, Флоренция.

В конце XVI в. по инициативе и при непосредственном покровительстве императора Священной Римской империи Рудольфа II в Праге также создается придворная камнерезная мастерская. Возглавил ее флорентийский ювелир Козимо Каструччи, а впоследствии его сменил сын Джованни. Они имели деловые связи с Galleria dei Lavori. В пражских мозаиках наряду с мрамором стали использоваться различные виды яшм и агатов из здешних месторождений. В отличие от флорентийской мастерской, здесь стали обращаться к пейзажным изображениям. Мозаичные гербы были очень популярны и востребованны в качестве дипломатического подарка. Яркий образец такого драгоценного дара — плакета, поднесенная императором Рудольфом II курфюрсту Саксонии Кристиану II во время посещения им Праги в 1607 г. (рис.5). Подбор материала отличается разнообразной цветовой гаммой камня. В совокупности с фигуративными геральдическими деталями оказалось вполне возможным расшифровать сложный конгломерат гербов, ассоциированных в курфюршестве субъектов (Саксонского герцогства, ландграфства Тюрингия, маркграфства Мейсен и др.).

Вотивный (заказанный по обету после чудесного исцеления) рельеф с молящимся Козимо II Медичи — не только одно из наиболее значимых произведений флорентийских камнерезных мастерских, но и яркий образец дальнейшего совершенствования и усложнения мозаичной техники*. На панели изображен Козимо II, преклонивший колена и жестом руки указывающий на принесенные в дар корону и скипетр — символы власти великого герцога. Алтарь с красной драпировкой сделан из яшмы с золотом, царственные одежды выполнены из золота тонкой чеканки с эмалью и алмазами, а горностаевый подбой — из светлой яшмы. В открытом окне видна колокольня и флорентийский собор Санта Мария дель Фьоре. Глубина изображаемого пространства искусно передана с помощью перспективного сокращения плиток пола, набранных из различных по окраске

* Сокровищница Медичи. Каталог выставки: Музеи Московского Кремля, 20 мая — 1 августа 2011 года / Авт. вступ. К.Ачидини, Р.Дженнайоли, К.Инноченти и др.; пер. с итал. О.Муромцева, М.Тарасова. М., 2011.

и текстуре видов мрамора и твердых камней. Они образуют своеобразную минералогическую коллекцию, которая отражает собирательские пристрастия представителей нескольких поколений семейства Медичи. Благодаря виртуозному использованию мастерами изобразительных возможностей ювелирных материалов и разных видов камня парадный портрет превратился в неповторимую изысканную драгоценность, столь высоко ценимую в эпоху барокко.

Начиная с XVII в. отдельные мозаичные панно с сюжетными фигуративными изображениями стали использоваться в декоре помпезных предметов мебели, которые предназначались для дворцовых интерьеров высшей знати. Один из наиболее ранних таких образцов — кабинет Барберини из Метрополитен-музея*, созданный между 1606 и 1623 гг. (рис.6).

Герб Маффео Барберини (1568–1644), в 1623 г. ставшего римским папой под именем Урбан VIII, располагается в сандрике над главным отделением секретера. Центральная часть кабинета декорирована мозаичной панелью, на которой изображен Орфей, играющий на лире да браччо (ранний тип скрипки**) и очаровывающий своей музыкой и пением диких животных и птиц. Фасадные панели шести других отделений выполнены по гравюрам Франческо Туппо на морализаторские сюжеты басен Эзопа, которые были изданы в Неаполе в 1485 г. Слева от центральной панели располагается мозаика с изображением саламандры, неуязвимой, как предполагалось, в огне. Этот сюжет ассоциируется с эмблемой французского короля Франциска I — покровителя искусства и поэзии. Барберини стремился всячески подражать меценатской деятельности монарха. Симметрично располагается эмблема папы Климента VIII — изображение птицы Феникс в огне, способной возрож-

Рис.5. Плакета с изображением герба курфюршества Саксония. Подарок курфюрсту Саксонии Кристиану II от императора Рудольфа II. Музей «Зеленые своды», Дрезден.

* Art of the Royal Court: Treasures in Pietre Dure from the Palaces of Europe. Catalogue of the Exhibition at Metropolitan Museum of Art. Ed. A.Giusti. N.Y., 2008.

** На таком же инструменте играет Аполлон, расположенный в центре фрески Рафаэля «Парнас» (1511) в Ватиканском дворце.

Рис.6. Шкаф Барберини — общий вид и деталь (1606–1623). Мастерские великого герцога Тосканского, Флоренция. Метрополитен-музей, Нью-Йорк (инв. №1988.19).

даться из пепла. Именно во время его понтификата Маффео был назначен на должность папского нунция при французском королевском дворе. Две боковые фасадные панели нижнего ряда содержат изображения сцен охоты на кабана и оленя, а центральная панель — двух петухов, несущих лису в качестве охотничьего трофея. Это, возможно, аллегория переменчивости судьбы, о которой всегда следует помнить. Крупные мозаичные панно с птицами и цветами на боковых сторонах и в верхней части кабинета выполнены, по всей вероятности, по эскизам Якопо Лигоцци (1547–1626) — придворного художника Медичи.

С камнерезными мастерскими великого герцога Тосканского тесно сотрудничали мебельщики — выходцы из южной части Германии. Такими приглашенными мастерами обычно выполнялся весь комплекс сложных столярных работ с использованием редких и экзотических пород дерева.

Со второй половины XVII и в начале XVIII в. Флоренция постепенно утрачивает политическое влияние, финансовый и экономический потенциал. Это способствует своеобразному экспорту технологий флорентийской мозаики, а также размещению в Galleria dei Lavori заказов от королевских домов Европы.

Двор Людовика XIV (1643–1715) отличался особым великолепием и роскошью. Для создания камнерезных произведений в технике флорентийской мозаики в 1668 г. при Королевской гобеленовой мануфактуре, деятельностью которой руководил первый королевский живописец Шарль Лебрен, была организована мастерская по обработке драгоценных камней. Для работы над многочисленными придворными заказами были приглашены итальянские мастера: братья О. и Ф.Мельорини, Ф.Бранчи, Ж.-А.Гашерти и др. Из весьма немногочисленных сохранившихся произведений уникальной иконографией отличается столешница в виде карты Франции. Выполненная в 1684 г. из различных видов мрамора и твердых пород камня (вероятно, на Королевской гобеленовой мануфактуре), она отражает максимальные территориальные приобретения Людовика XIV (Люксембург, Страсбург и др.) в войне с Испанией и со Священной Римской империей (рис.7). Тема прославления внешнеполитических достижений короля усилена цитатой «это твои искусства» из «Энеиды» Вергилия, что подразумевало древнеримское понимание завоевания и управления как искусств. За цитатой следовала дарственная надпись королю от К.-А.Купле, профессора математики в Королевской академии наук. Изображение на столешнице карты «с приобретениями» как нельзя более отвечало целям политической пропаганды, и потому стол располагался в приемных залах — сначала Версаля, а впоследствии Большого Трианона.

В 1737 г. со смертью Жана Гастона пресеклась ветвь Медичи, и новым сувереном Тосканского герцогства стал Франц I, консорт австрийской императрицы Марии-Терезии. Роскошь придворной жизни теперь оказалась полностью сосредоточенной в Вене, а Флоренция превратилась в провинцию большой империи. Однако эти перемены не повлияли на деятельность камнерезной мастерской, которую с 1748 г. возглавил ювелир и резчик камей, выходец из Франции Луи Серие. В следующем году он пригласил для совместной работы известного жанрового художника и портретиста Джузеппе Дзокки (1711–1767). С именами этих мастеров связаны произведения, украсившие «Восьмое чудо света» — Янтарную комнату Екатерининского дворца в Царском Селе под Санкт-Петербургом*. Ярким дополнением ее янтарного убранства стали флорентийские мозаики с аллегорическими изображениями жанровых сцен на фоне архитектурных руин пяти человеческих чувств: зрения, слуха, вкуса, осязания и обоняния.

Рис.7. Столешница в виде карты Франции. Королевская гобеленовая мануфактура (Париж, 1684). Эскиз Клода-Антуана Купле, камнерезные работы Ораса и Фердинанда Мельорини и др. Твердые породы камня, мрамор, алебастр. Лувр, Париж (инв. №6632).

* Янтарная комната. Взгляд через столетия. Каталог выставки, ГМЗ «Царское Село». СПб., 2003.

Янтарные панели, созданные в конце XVII — начале XVIII в. и составлявшие основу этой легендарной комнаты, были подарены в 1716 г. Петру I прусским королем Фридрихом Вильгельмом I в знак укрепления союзнических отношений двух государств. Однако мозаичные картины появились в убранстве комнаты несколькими десятилетиями позже, при императрице Елизавете Петровне. По ее повелению в Большом царскосельском (Екатерининском) дворце Ф.Б.Растрелли должен был создать Янтарную комнату.

Растрелли гармонично вписал четыре мозаичные картины (которые, по всей видимости, были дипломатическим подарком австрийского двора русской императрице) в огромные янтарные рамы и придал изысканному интерьеру особое великолепие. Сейчас в экспозиции представлена только одна подлинная мозаика — «Осязание и обоняние» (рис.8).

Рис.8. Мозаичное панно «Осязание и обоняние». Флорентийская камнерезная мастерская. Камнерез Л.Серие, эскиз Дж.Дзокки. Оникс, лазурит, яшма, серпентин, кахолонг, мрамор, кремень, сланец. Государственный музей-заповедник «Царское Село» (инв. № ЕД — 133-VIII).

Большим поклонником флорентийской мастерской был король Неаполя и Сицилии (1734–1759) Карл из династии Бурбонов (с 1759 г. — король Испании под именем Карл III)*. В 1737 г., сразу после смерти последнего герцога Тосканского из рода Медичи, он пригласил в Неаполь 10 мастеров из Galleria dei Lavori, которые и составили костяк новой придворной мастерской Real laboratorio. После вступления на испанский престол в 1759 г. Карл III организует в Мадриде такую же мастерскую — Buen Retiro. В 1761 г. в испанскую столицу прибыли ведущие мастера Доменико Стекки и Франческо Поджетти. Именно с их именами связан наиболее яркий период работы мастерской: создание серии из девяти мозаичных столешниц для консольных столов на бронзовых подстольях. Все проектные эскизы для них написаны французским художником Жаном-Жозефом Флипаром (1721–1797). Картоны (рис.9) для серии столешниц, выполненные в жанре trompe l'oeil (обманки), не имели аналогов по характеру изображений среди произведений остальных крупных центров флорентийской мозаики. Тем более удивительным стало виртуозное воплощение этих проектов в материале. На одной из таких столешниц (рис.10) с иллюзионистической достоверностью воспроизведены беспорядочно сложенные на столе картины, шарманка, книги и другие предметы. Флорентийская мозаика здесь столь совершенна по технике исполнения, что в полной мере становится «каменной живописью».

Со второй половины XIX в. крупные заказы все реже поступают во флорентийскую мастерскую, и ее деятельность ориентируется на учебно-реставр-

Рис.9. Картон с изображением беспорядочно сложенных на столе предметов (Мадрид, около 1779 г.). Художник Жан-Жозеф Флипар (холст, масло). Национальный музей Прадо, Мадрид (инв. № P-007823).

* *Giusti A.* Pietre Dure. The art of semiprecious stonework. Getty Trust Publications. Oxford, 2006.

Рис.10. Мозаичная столешница консоли из яшмы с изображением беспорядочно сложенных на столе предметов (Мадрид, около 1775–1783 гг.). Камнерезы Доменико Стекки, Франческо Поджетти; бронзовщик Жан-Батисто Феррони. Королевская мастерская Буен Ретиро. Национальный музей Прадо, Мадрид (инв.№ O-000214).

рационные задачи. За долгий период работы накопился огромный объем материала, ставший, по сути, уникальной коллекцией декоративного камня. В 1858 г. вышел в свет краткий текст о почти трехсотлетней истории Galleria dei Lavori с приложением списка собранной коллекции пород и минералов, которые использовались в мозаиках. За сравнительно коротким списком скрывается значительное количество разновидностей яшм, агатов и мраморов, отличающихся широкой вариативностью цветовых оттенков и текстурных особенностей. Свидетельством тому служит собранная Фаустино Корси в начале XIX в. внушительная (около 1 тыс. образцов) коллекция полированных плиток декоративного камня, систематизированная им по географическому и геологическому принципам. Столь большие запасы каменного материала в сочетании с многовековыми художественными традициями мастерской составили необходимый базис последующей успешной учебно-реставрационной деятельности в XX в.

* * *

Сформировавшаяся как самостоятельное художественное явление к началу XVII в. флорентийская мозаика заняла особое место в ряду драгоценных предметов роскоши. В первые десятилетия работы Galleria dei Lavori сложились основные жанры живописи в камне, предназначенной для декоративного оформления мебели, элементов общественного и церковного интерьера. Роскошные мозаичные панно, на создание которых нередко требовалось несколько лет, идеально подходили для возвеличивания тонкого просвещенного вкуса, богатства и политического могущества правителей. Именно поэтому произведения флорентийской мозаики украсили в XVII—XVIII вв. дворцовые интерьеры почти всех европейских столиц, а впоследствии стали предметами гордости крупнейших музейных и частных собраний.■

The Origins, Development and Flourishing of the Florentine Mosaic in Western Europe

V.I.Prygov[1,2], A.Yu.Belyakov[2,3]
[1]Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (Moscow, Russia)
[2]Vernadsky State Geological Museum (Moscow, Russia)
[3]Creative Workshop of the Florentine Mosaic (Moscow, Russia)

"Florentine" or hard stone mosaic (Pietre Dure), was formed as an independent artistic phenomenon by the beginning of the XVII century. The roots of this kind of art go back to the ancient tradition of working with different types of marble. The main innovation brought by the Renaissance to the technique of stone mosaic was figurative images and the use of minerals, whose hardness significantly exceeded the hardness of marble. The main "genres of painting in stone" were developed in the first decades of activities of the mosaic workshop (Galleria dei Lavori) which was founded by Ferdinando Medici in 1588 in Florence. Later it became a "worldwide provider" of ideas and technologies, as well as the contractor of orders of royal houses of Europe. Luxurious mosaic panels, often taking several years to create, were ideally suited for the purpose of glorifying the refined enlightened taste, wealth and political power of the sovereign. That is why the Florentine mosaics had decorated palace interiors of almost all European capitals in the XVII–XVIII centuries, and subsequently became objects of pride of the largest world museum collections: Hermitage, Louvre, Prado, Metropolitan, Hofburg, Victoria and Albert. In this article the Pietre Dure history milestones are based on the most significant objects from the mentioned above museums.

Keywords: Florentine mosaic, Pietre Dure, mosaic panels, solid stones, agate, jasper, Medici.

Александр фон Гумбольдт

К 250-летию со дня рождения и 190-летию путешествия по России

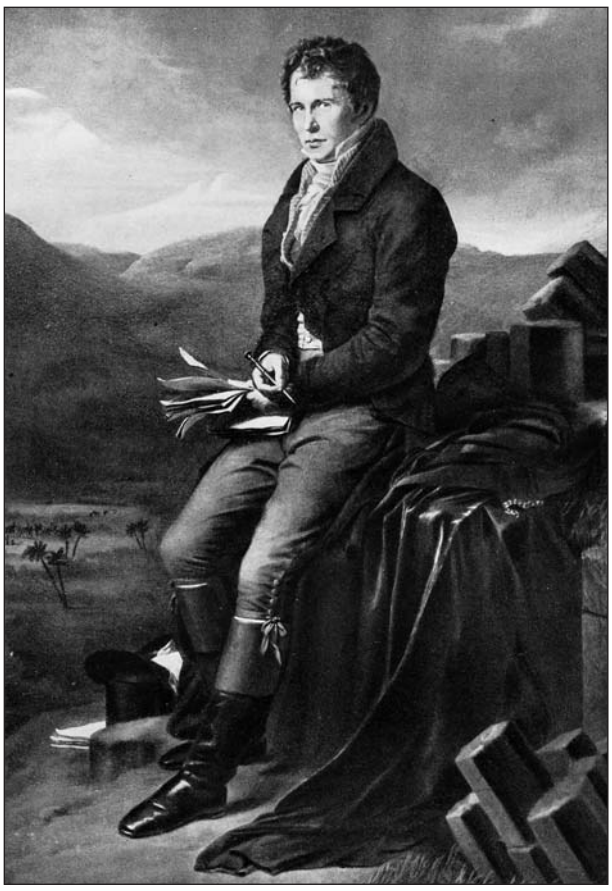
доктор географических наук В.П.Чичагов
Институт географии РАН (Москва, Россия)
e-mail: chichagov@mail.ru

Великий естествоиспытатель, путешественник и географ Александр фон Гумбольдт (1769–1859) внес огромный вклад в мировую науку. Он собрал обширный материал во время двух экспедиций — по Южной Америке в 1799–1804 гг. и по России в 1829 г., опубликовал 636 научных работ, в числе которых 30-томный «Космос» и трехтомник «Центральная Азия». Научные интересы Гумбольдта были многогранны. Он составил орографическую схему Центральной Азии, вычислил среднюю высоту материков, доказал асимметричность Земли. В области климатологии Гумбольдт ввел понятие изотерм, заложил основы теоретической климатологии, обосновал существование двух климатов — солярного и реального. Он основал географию растений, выделил три зоны — тропическую, умеренную и холодную, объединил все растения в 17 формаций, впервые рассмотрел вопрос о продуктивности низших организмов. Описал широтную зональность и высотную поясность. Одновременно изучал вопросы земного магнетизма, петрографии, минералогии и горного дела. В 1829 г. Гумбольдт был избран почетным академиком Императорской Российской академии наук.

Ключевые слова: Южная Америка, Россия, Каспийское море, геоморфология, география растений, климатология, широтная зональность, высотная поясность.

В 2019 г. отмечается 250-летие великого естествоиспытателя, ученого-энциклопедиста, географа широкого профиля Александра фон Гумбольдта. Девизами его научного творчества можно считать следующие высказывания: *Я стремился представить картину природы в целом и показать взаимодействие ее сил. Я собираю факты и не доверяю своим собственным гипотезам. Будем наблюдать, собирать несомненные факты — только таким образом физические теории можно будет утвердить на прочных основаниях.*

Родился Александр 14 сентября 1769 г. в Германии, в Берлине, в семье придворного саксонского курфюрста Александра Георга фон Гумбольдта. С детства мальчика увлекали книги о заморских странах с экзотической природой, он с упоением слушал рассказы Г.Форстера — участника второго кругосветного путешествия Джеймса Кука (1772–1775) — о тропиках, их природе и населении. О личной жизни Гумбольдта мы, к сожалению, почти ничего не знаем. Он любил своего старшего брата Вильгельма и с большой теплотой и привязанностью относился к его супруге Каролине. После смерти матери она окружила маленького Александра добром и заботой. В отличие от старшего брата, Александр был несильного здоровья, ему трудно давались начальные знания. Повзрослев, он окреп, кроме учебных занятий стал уделять время светским развлечениям, посещал салоны, учился танцевать, занимался гравированием, на-



Александр Гумбольдт в молодые годы. Портрет работы Карла Штейбена (1812).

© Чичагов В.П., 2019

DOI:10.7868/S0032874X19120068

чал рисовать и достиг в этом большого совершенства, что ему очень пригодилось во время будущих путешествий. Интересно, что ему была совершенно чужда музыка, он называл ее общественным бедствием, в чем был похож на короля Пруссии Фридриха Вильгельма III, который тоже находил это искусство невыносимым. В то время сложился характер Гумбольдта — веселый, общительный, соединявший приветливость и снисходительность к людям с насмешливостью и скептицизмом.

Гумбольдт получил высшее образование в 1787–1792 гг. во Франкфуртском и Гёттингенском университетах и Фрайбергской горной академии. В 1790 г. вместе с Форстером он совершил путешествие по долине Рейна в Голландию и далее в Англию и Францию. Эта научная экспедиция стала для молодого ученого хорошей школой. По результатам собственных наблюдений Гумбольдт опубликовал свою первую научную работу «Минералогические наблюдения над базальтами на Рейне». Вскоре Гумбольдт стал профессиональным геологом и ботаником, получил заслуженное признание своих старших европейских коллег. Общение с Форстером, примыкавшим по своим политическим убеждениям к левым якобинцам, а также дружба с Ф.Шиллером и И.В.Гёте способствовали формированию у Гумбольдта прогрессивных материалистических взглядов, верность которым он пронес через всю жизнь.

Шиллер, братья Вильгельм и Александр Гумбольдты, Гёте. Гравюра Вильгельма Арланда по рисунку Андреаса Мюллера. Опубликовано в газете «Беседка» (Лейпциг, 1860. №15).

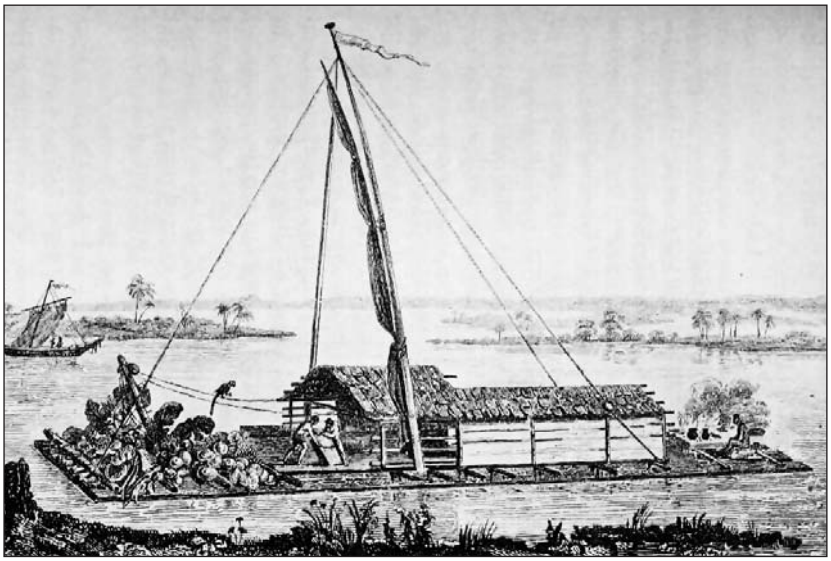
Гумбольдт обладал огромными научными знаниями и мог считаться настоящим ученым-энциклопедистом. Он был богат и знатен, ему оказывали внимание многие влиятельные люди и даже два короля Пруссии. Все мужчины в его семье — отец, старший брат Вильгельм и он сам, в звании камергера, — служили королю Фридриху Вильгельму III. Несмотря на это, Гумбольдт всегда отличался скромностью и общительностью, умел по достоинству оценить вклад в науку своих коллег независимо от их возраста и положения, был неизменно вежлив и вел себя корректно и достойно. При этом всегда был принципиален и жестко реагировал на искажения переводов своих работ.

В жизни и научном творчестве Гумбольдта главную роль сыграли две замечательные экспедиции. Одна из них — в Южную Америку и Мексику — длилась пять лет (1799–1804) и завершилась в Северной Америке. Вторая — в Россию и на крайний северо-запад Центральной Азии — состоялась в 1829 г.

Первую экспедицию он совершил на собственные средства и истратил на нее почти все свое состояние. В ту эпоху Южная Америка была под властью могущественной Испании, и путешествие в ее пределы «неиспанцев» было сопряжено со многими трудностями. В марте 1799 г. Гумбольдт добился аудиенции у короля Испании Карла IV, подробно изложил ему свои планы, получил официальное разрешение и все документы, необходимые для проведения научных исследований на Кубе, в Мексике, Новой Гранаде (Венесуэле), Перу, Чили, Аргентине и на Филиппинах. Вместе с Гумбольдтом в экспедицию отправился его друг и коллега ботаник Э.Бонплан. Время тогда было трудным: шла война между Испанией и Англией, английские корабли блокировали порты Испании. Однако 5 июня 1799 г., воспользовавшись туманом, участники экспедиции благополучно вышли из порта Ла-Корунья в океан на корвете «Писарро».

Путь корвета приблизительно повторил маршрут кораблей Колумба. Посетив острова Грасиоза и Тенерифе, экспедиция пересекла океан, и на сорок первый день плаванья судно вошло в гавань г.Кумана (на территории современной Венесуэлы). Отсюда исследователи направились в Каракас, поднялись на вулкан Силлу, затем подошли

к берегам горного озера Такаригуа (Валенсия). На самодельном плоту они спустились по рекам Гуарико и Апуре к Ориноко и поднялись по этой реке до границы с Бразилией. Здесь они прошли узкой протокой Атабана до р.Риу-Негру (самого крупного притока Амазонки) и доказали соединение верховьев рек Ориноко и Амазонки. Спустившись по Ориноко, они остановились в г.Ангостуре. Первый период их длительного путешествия закончился. Далее Гумбольдт и Бонплан направились в Гавану, а затем снова в Южную Америку. От г.Картахены вверх по р.Магдалене дошли до городов Боготы и Кито. После восхождения на гору Чимборасо (6310 м) отправились в древнюю страну инков — Перу. По рекам и тропам, пешком и на лошадях добрались до Лимы, где и закончился второй этап путешествия. Его заключительная, третья, часть проходила по территории Мексики, а началась она в Акапулько.



Плот, на котором экспедиция плыла по р.Ориноко (по рисунку Гумбольдта).

Ученые пересекли страну многими маршрутами в разных направлениях. Они осмотрели горные рудники и поднялись на высокие вулканы Попокатепетль и Орисаба. Особый интерес вызвали у них осмотр памятников древней культуры народов Мексики и знакомство с архивными докумен-

Александр фон Гумбольдт и Эме Бонплан у подножия вулкана Чимборасо. Художник Фридрих Георг Вейч (1806).

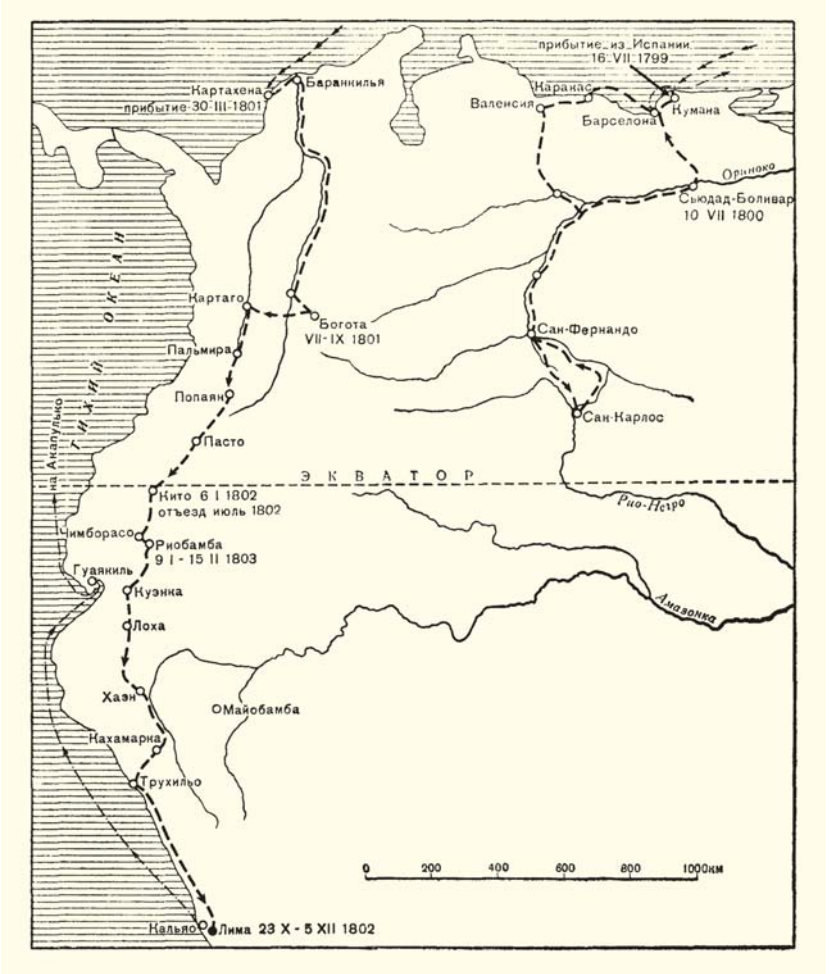


Схема путешествия Гумбольдта по Южной Америке.

После этого грандиозного путешествия Гумбольдт поселился в Париже. Там он провел 20 лет, приводя в порядок собранные материалы. Парижский период в жизни ученого оказался наиболее плодотворным. Научные итоги были сведены в колоссальный тридцатитомный труд «Путешествие в равноденственные области Нового Света в 1799–1804 годах», который публиковался на протяжении почти 30 лет. В обработке материалов Гумбольдту помогали разные специалисты: Ж.Л.Гей-Люссак и Ф.Араго в метеорологии, Ж.Л.Кювье, П.А.Латрейль, Ж.Б.Ламарк и Э.Ж.Сент-Илер в зоологии, Л.Н.Вокелен и М.Г.Клапрот в минералогии, К.С.Кунт в ботанике, Я.Ольтманс и П.С.Лаплас в астрономии. Это колоссальное сочинение состоит из шести разделов. Первый посвящен географии и занимает три тома. Во втором приводятся данные из зоологии и сравнительно-анатомических исследований. Третий содержит географическое описание Испанской империи, в нем рассказывается о ее географии, населении, промышленности и сельском хозяйстве, торговле и финансах. В четвертом разделе приведены результаты астрономических исследований Гумбольдта, в пятом, помещенном в отдельный том, — его работы по географии растений — новой, созданной им самим, отрасли знаний. Последний, самый крупный раздел состоит из 18 томов и включает описание собранных растений.

тами. Закончив исследования, экспедиция направилась в Североамериканские штаты и по приглашению президента Джефферсона прибыла в Вашингтон. Ученые покинули Северную Америку 9 июля 1804 г. и отплыли во Францию, в Бордо.

Схема путешествия Гумбольдта по Мексике.

Из экспедиции Гумбольдт приехал совсем другим: окреп, пополнел, стал сильным и красивым человеком. Его глаза искрились добротой и неустанным интересом к самым разнообразным научным темам. Он по-прежнему был проницателен, насмешив и критичен, но при этом внимательно и доброжелательно относился ко всем коллегам, невзирая на занимаемое ими положение, звания и национальность. Живя в Париже, Гумбольдт не раз посещал Италию, Англию, Испанию, Польшу и другие европейские страны. Научная деятельность ученого проходила во времена, последовавшие за эпохой Великих географических открытий, он был современником Великой французской буржуазной революции 1789–1794 гг., эпохи завоеваний Наполеона и буржуазных революций в Европе 1848–1849 гг. Все эти события укрепили формиро-

вание его прогрессивного свободолюбивого и гуманистического мировоззрения. Он был убежденным сторонником монофилии — считал, что на Земле нет высших и низших рас, нет племен и народов, более благоразумных, чем другие; все народы и племена — это формы одного вида, ветви одного корня. Гумбольдт не раз решительно выступал за отмену рабства в испанских колониях и в Северной Америке. С такой же смелостью он высказывался за эмансипацию евреев. Его мировоззрение не могло не сказаться на особенностях его научного творчества.

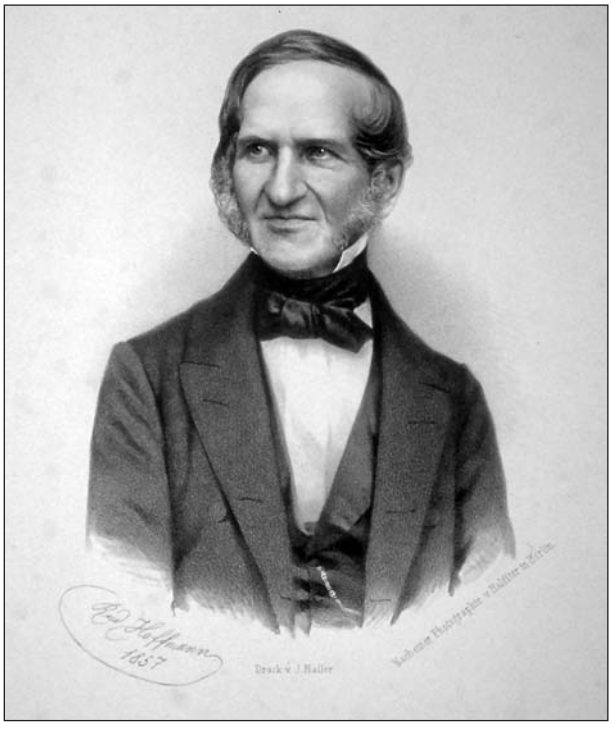
Ученому принадлежит 636 научных работ, изданных преимущественно на немецком языке. Интересно, что 28 трудов опубликованы на русском языке. Среди них выделяются «Космос. Опыт физического мироописания» (1848–1863), «Путешествие барона Александра Гумбольдта по Америке с геологическими и климатологическими исследованиями Азии» (1835), «Картины природы с научными объяснениями Александра Гумбольдта» (1855), «Центральная Азия» (1915) и «Путешествие барона Александра Гумбольдта, Эренберга и Розе в 1829 году по Сибири и к Каспийскому морю» (1837).

На склоне лет, в 1829 г., Гумбольдт отправился в Россию. О трудах ученого и о его вкладе в науку на протяжении двух с половиной веков писали едва ли не все крупные отечественные и зарубежные ученые и исследователи. Подавляющее большинство из них приводили результаты исследований в практически не изученной в то время Южной и Центральной Америке. Рассказывали об орографии, земном магнетизме, геологии, горнорудном деле, ботанике, климатологии и др. Путешествие же Гумбольдта по России и северо-западной окраине Центральной Азии в зарубежных работах освещено кратко, может быть, даже излишне сжато. Этот пробел пытались восполнить известные российские ученые: о результатах удивительно недолгого (по сравнению с предыдущим) путешествия Гумбольдта по России писали Д.Н.Анучин (1915), А.А.Григорьев (1959), В.А.Есаков (1960), И.М.Забелин (1969), К.К.Марков (1969)*. Сегодня, в честь 250-летия ученого и 190-летия экспедиции по России, ее итоги заслуживают напоминания о них.

Гумбольдт планировал экспедицию в Центральную Азию начиная с 1807-го, даже с 1804 г. Однако осуществить задуманное он смог лишь спустя много лет, когда получил приглашение от российского императора Николая I приехать в Россию.

7 мая 1829 г. экспедиция Гумбольдта выехала из Петербурга в Москву. По просьбе ученого в путешествии приняли участие Х.Г.Эренберг — биолог, изучавший Нубию, Палестину и Абиссинию, и Г.Розе — известный минералог. Сопровождать Гумбольдта было поручено Д.С.Меньшенину — талантливому горному инженеру, впоследствии горному инспектору Уральского округа, хорошо владевшему немецким и французским языками. Меньшенин хо-

Христиан Готфрид Эренберг (1795–1876). Литография Рудольфа Гофмана по фотографии (1857).



Густав Розе (1798–1873). Литография Рудольфа Гофмана по фотографии (1857).

* Труды этих авторов использовались при подготовке предлагаемой читателю статьи.

рошо знал горное дело, в особенности горнозаводскую промышленность и геологию Урала, он был одновременно переводчиком и научным консультантом Гумбольдта. Экспедиция отличалась высоким уровнем организации, планировалась и проходила под патронажем царского правительства, самого императора Николая I и министра финансов графа Е.Н.Канкрина. В России к Гумбольдту относились с особенным вниманием и почтением, как к всемирно известному ученому и посланнику немецкого короля Фридриха Вильгельма III. Путешествие было подготовлено и проходило на средства правительства Российской империи. Губернаторы и вице-губернаторы городов Урала и Сибири заблаговременно получили депеши с высочайшим повелением «исполнять и предупреждать» требования Гумбольдта. В распоряжение экспедиции предоставили два экипажа: коляску с откидным верхом на четыре человека и польскую рессорную коляску для горного чиновника и его слуги, а также для приборов и вещей. В экипажи одновременно впрягалось по 15 почтовых лошадей.

Путешествие началось в Москве, затем через Владимир ученые отправились в Нижний Новгород, далее по Волге в Казань, в древний город Булгар, через Пермь в Екатеринбург, а оттуда на месторождения и заводы Среднего и Южного Урала: Невьянск, Верхнетурьинский, Богословск и др. Здесь участникам экспедиции были показаны месторождения железа, золота, платины, малахитов и других полезных ископаемых. Далее маршрут проходил через Камышлов и Тюмень до Тобольска, путь лежал через Тару, Барабинскую степь, Канск и Барнаул. Отсюда экспедиция направилась в Рудный Алтай, где осматривала рудники и месторождения, включая район горы Змеевой (г.Змеиногорск), далее через Бухтарму, крепость Усть-Каменогорск вплоть до границы с Китаем, до китайского пограничного поста, располагавшегося севернее оз.Зайсан. Возвращались путешественники через Семипалатинск, Омск, Петропавловск и Троицк на Южный Урал — в Миасс и Златоуст. Из двух последних пунктов были организованы экскурсии на рудники и заводы Южного Урала. Далее маршрут проходил на Верхнеуральск, Орск, Оренбург и затем на Бузулук, Самару, Сызрань, Вольск, Саратов, Царицын и оз.Эльтон. Отсюда ученые следовали до Астрахани, откуда совершили несколько маршрутов по Каспийскому морю, провели наблюдения за его уровнем и глубинами. 9 сентября 1929 г. выехали из Астрахани; через Сарепту, Воронеж и Тулу возвратились в Москву и 1 (13) ноября прибыли в Петербург.

Экспедиция преодолела почти 15 тыс. км по суше, более 700 км по рекам и 100 км по Каспию, путники останавливались на 568 станциях, 53 раза переправлялись через реки, из них 10 раз через Волгу, восемь раз через Иртыш и три раза через Обь. Сухие цифры говорят о многом, и прежде всего о том, что путешествие было невероятно быстрым, напряженным и насыщенным событиями.

В 1831 г. Гумбольдт издал серию статей по итогам путешествия. Среди них была работа «Фрагменты по геологии и климатологии Азии». В знак уважения и благодарности он посвятил ее Петербургской академии наук, *расширившей пределы описательной естественной истории и физической географии длинным рядом путешествий под ее руководством*, и членам Горного корпуса, *содействие и благородное гостеприимство коих помогло... работам в Уральских и Алтайских горах* [1, с.17].

Вышедшая в свет в 1837 г. книга «Путешествие барона Александра Гумбольдта, Эренберга и Розе в 1829 году по Сибири и к Каспийскому морю» написана своеобразно, кратко, в ней чередуются путевые очерки и описания дорожных путей, перемежаются данные собственных наблюдений и материалы, почерпнутые из опросных данных, а также из арабских, китайских и японских источников. Книга состоит из серии разделов или глав: о горных степях и вулканах Внутренней Азии, о горных системах Азии (Алтайской, Тянь-Шаньской, Куньлуньской и Гималайской), об оз.Алакуль и пещере Уайбе, о сальсах (грязевых вулканах) и огнях (горе Янар Даг с выходами горящего природного газа) близ Баку. Гумбольдт тщательно описал дороги: от Семипалатинска к югу до Кашгара, от Кашгара до Яркенда, от Яркенда до Тибета, от Семипалатинска до Ташкента, от Ташкента до Коканда, от Семипалатинска до Кульджи, от р.Или до г.Уш-Турфана, от Уш-Турфана до Аксу, от Аксу до Кашгара, от Семипалатинска до Чугучака.

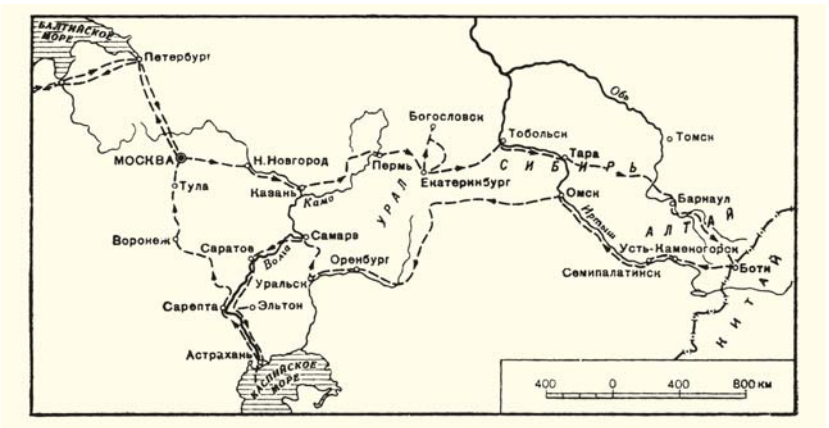


Схема путешествия Гумбольдта по России.

Заканчивается монография примечаниями и дополнениями, сделанными Юлиусом Клапротом, они включают описание Алтая и вулканических явлений в Китае, Японии и других частях Внутренней Азии.

По окончании путешествия Гумбольдт писал, что ранее ему не удавалось за полгода собрать такое огромное количество научного материала. Он получил новые данные в геоморфологии, физической географии, географии растений, климатологии, геологии. Ученый значительно расширил свои взгляды на устройство земной поверхности Азии, по-новому предложил рассматривать ориентировку горных хребтов, взаимоотношение степей и пустынь, географическое распространение растений. В различных районах Урала, Западной Сибири и Алтая он собрал уникальную коллекцию горных пород и минералов.

Одновременно публиковали результаты своих исследований и спутники Гумбольдта. Эренберг издал серию статей, а в 1854 г. — книгу о живущих и ископаемых микроорганизмах и монографию «Микрогеология». Розе подготовил двухтомный труд: первый том (1837) был посвящен путешествию на Северный и Центральный Урал и опубликован в Берлине, второй (1842) содержал описание путешествия на Южный Урал и к Каспийскому морю, а также обзор минералов и горных пород Южного Урала. При работе над книгой Розе неоднократно прибегал к помощи Гумбольдта, который передал ему все карты, книги, рукописи, собранные во время путешествия. *Он также просмотрел со мной весь свой дневник... и сообщил мне оттуда множество заметок для самостоятельного их использования; и вообще он никогда не оставлял меня без своего совета и дружеского участия, чему я с искренней благодарностью даю здесь публичное выражение*, — писал Розе о Гумбольдте.

Книга Гумбольдта 1837 г. стала своеобразным заделом для более позднего научного обобщения, сделанного в его фундаментальной монографии о Центральной Азии.

Выражаясь современным научным языком, основные результаты географических исследований Гумбольдта были посвящены трем разделам географической науки: геоморфологии, климатологии и географии растений. Рассмотрим кратко основные научные представления ученого в этих областях.

Геоморфология. В трехтомном сочинении «Центральная Азия» Гумбольдт рассматривал главным образом устройство поверхности Центральной Азии, под которой он понимал пространство, заключенное между 39°30′с.ш. и 49°30′с.ш., между Каспием на западе и Хинганом на востоке. Центральную Азию ученый считал огромным высоким плоскогорьем. Оно простиралось, по его мнению, без перерыва в направлении с юго-юго-запада на северо-северо-восток от Малой Бухарии до Восточной Халхи и до горной цепи Хангай. Если к поверхности Гоби прибавить высокое плоскогорье Тибета, отделенное большой горной цепью Куньлуня, то расстояние от северных склонов Гималаев до Хангая в Китайской Монголии будет равно 520 милям, или вся возвышенность составит от 60 до 62 тыс. миль[2]. Средняя высота плато, по данным Гумбольдта, не превышает 4 тыс. футов, или около 660 туазов (1 туаз = 1.95 м). Центральная часть Гоби едва достигает наибольшего поднятия в 2.4 тыс. футов. Самые высокие станции расположены к северу от Урги (Улан-Батора), а к югу возле Китайской стены начинается спуск в Великую Китайскую равнину, покрытую богатой растительностью.

В общем обзоре равнин и горных систем Азии Гумбольдт считал Европу полуостровным участком Азии. Обращаясь к Азиатскому материку, он указывал, что к востоку от линии, проведенной через Кукунор, страну Ордос, дугу Хуанхэ до Хангая (т.е. с юго-юго-запада на северо-северо-восток) поверхность представляется необыкновенно пересеченной. К западу от этой линии рельеф характеризуется большей правильностью. Здесь продольные поднятия ориентированы в одном и том же направлении на огромных расстояниях. Наиболее крупные горные или выдающиеся, по словам ученого, неровности рельефа расположены в двух направлениях. Главные цепи гор — Алтай, Тянь-Шань, Куньлунь, Гиндукуш, Тавр, Гималаи — ориентированы вдоль параллелей. Другие системы складок — Урал, Кузнецкий Алатау, Болор* и Сулеймановы горы в Индии — образуют меридиональные цепи, вытянутые почти прямо с юга на север. В соответствии с господствовавшими в то время представлениями, Гумбольдт считал причиной горообразования вулканизм: *...Влияние, производимое внутренностью планеты на ее наружную оболочку, изменяется соответственно стадиям ее постепенного охлаждения вследствие неодинакового состояния (жидкого и твердого), в котором находятся составляющие ее вещества. Эта деятельность изнутри наружу... в настоящее время очень ослаблена* [2, с.78]. Гумбольдт указывал, что во многих областях Земли обнаруживается тесная связь между направлением жил и природой металлов, *какие эти жилы содержат*. Урал и Кузнецкий Алатау оказались чрезвычайно богатыми золотом, особенно в золотоносных наносах восточных склонов. Гумбольдт считал, что это связано с более или менее параллельными осями этих поднятий и металлогенными извержениями сквозь тре-

* Так Гумбольдт назвал один из главных меридиональных хребтов Центральной Азии, нанесенный впоследствии на все географические карты того времени. Спустя годы русские географы доказали, что таких гор не существует. — *Примеч. ред.*

щины близкого возраста. Ученый показал, что золотоносные пески откладывались в небольших долинах и на плоскогорьях горными потоками, а не морскими течениями, как представлялось ранее.

Не менее интересными были вычисления средней высоты материков, которая имеет большое теоретическое значение — в частности, для доказательства асимметричности Земли. Выводы Гумбольдта основывались как на данных вычислений, так и на теоретических представлениях. Он напоминал, что, по данным Лапласа, земной эллипсоид имеет почти идеальную математическую форму с отклонениями от нее всего на 1000 м на суше и на 500 м на дне океана. Сам Гумбольдт принимал для суши меньшее значение отклонения — всего 300 м. Его оценки оказались почти в три раза ниже полученных в наше время. Тем не менее не стоит забывать, что Гумбольдт стал родоначальником оценок такого рода, чрезвычайно необходимых для определения формы Земли.

Климатология. Выводы в области климатологии и метеорологии Гумбольдт практически всегда основывал на результатах измерений. Численных характеристик в его трудах множество. Особенно много климатических данных в монографии о Центральной Азии, в разделе «Размышления о причинах извилин линий изотерм». Гумбольдт ввел термины «изотерма» (линия равных температур лета) и «изохимена» (линия равных температур зимы), а также представление о нулевых изотермах. Он обосновал понятие теоретической климатологии, описал два типа климата — солярный и реальный. Гумбольдт открыл закон уменьшения тепла с высотой, подсчитал вертикальный градиент температуры. Составленная им карта изотерм была впервые опубликована в 1817 г. На ее основании физик Бюстер в 1820 г. пришел к выводу о существовании двух полюсов холода — сибирского и канадского. Гумбольдт интересовался вопросами истории климатических явлений, задумывался о причинах изменения климата во времени. Опираясь на принятую в ту эпоху концепцию остывающей Земли, ученый рассматривал две фазы термической истории планеты: фазу Земли как раскаленного шара, когда межширотные различия температуры и климата не выражены, и фазу остывшей Земли с существующими межширотными различиями.

География растений. Во время своего американского путешествия Гумбольдт особенно много сделал в области биологии. Он собрал богатый гербарий и создал географию растений как отрасль науки, а также открыл ряд новых для европейской науки животных. Его интересы лежали в области изучения географической оболочки, а растительность и животный мир рассматривались как ее компоненты. Он создал и применял новые понятия: «общественные растения» и «география растений». Последняя изучала растения в связи с климатом и высотой местности. Гумбольдт писал, что растения, *соединенные общественно, подобно муравьям и пчелам, покрывают громадные пространства* и образуют всего 17 главных формаций, или основных форм. Ученый отмечал необходимость изучения исторического развития растений и влияния человеческой деятельности на них, так как *пизанг, дынное дерево, кокосовая пальма, маниок и маис нигде не найдены в диком состоянии*. Он описывал, по сути, современное содержание термина «биосфера». *Не только нижняя часть атмосферы, насыщенная сгущенными парами, но и высшие слои чистого эфира — полны жизнью. <...> Мы видели бабочек и других крылатых насекомых на Чимборазо, которое превышает Этну на 2440 м. <...> ...Выше всех вершин цепи Анд часто парил над нами кондор, великан из коршунов. <...> Из высыхающих вод ветры уносят вверх ротаторий, коловраток и тому подобных микроскопических существ* [2, с.91–95]. В распределении растений он выделял три зоны: тропическую, умеренную и холодную. Гумбольдт подсчитал, что биомасса растений на 0°, 45° и 68°с.ш. соотносится как 12:4:1. Он впервые рассмотрел вопрос о продуктивности низших организмов: *Своей массой растительные организмы в общем далеко превосходят животных на Земле. <...> ...Именно жизнь, называемая мельчайшей в пространстве, есть та, которая своей способностью деления и быстрого размножения представляет удивительнейшее отношение своих масс к пространству* [2, с.95].

Кроме основных географических направлений Гумбольдт весьма успешно изучал вопросы земного магнетизма, петрографии, минералогии и горного дела. Благодаря стараниям и настойчивости ученого Петербургская академия наук стала центром, координирующим исследования в области геомагнетизма и метеорологии. Начиная с 1841 г. создавались обсерватории в Екатеринбурге, Барнауле и Нерчинске. В 1849 г. в Пулкове была открыта Главная физическая обсерватория, ее директором стал старый коллега и друг Гумбольдта академик А.Я.Купфер. Он руководил обсерваторией долгие годы — с 1849 по 1865 г. Ныне обсерватория носит имя выдающегося русского климатолога А.И.Воейкова.

Гумбольдт интересовался также общественной и литературной жизнью России (вспомним друзей его юности Шиллера и Гёте). Он встречался с А.С.Пушкиным, А.И.Герценом, В.Г.Белинским. В числе его знакомых были декабрист Н.И.Тургенев и его брат А.И.Тургенев, П.Я.Чаадаев, Н.И.Греч и др. Пушкин писал о Гумбольдте так: *Не правда ли, что Гумбольдт похож на тех мраморных львов, что бывают на фонтанах? Увлекательные речи так и бьют у него изо рта.*

Одним из главных достижений Гумбольдта в географии стали разработанные им представле-

ния о географической зональности. Их он выразил на трех оригинальных картах мира и на одном листе природных профилей. На первой карте изображены широтные океанические течения и их отклонения под действием силы Кориолиса и из-за особенностей расположения материков. На карте климатических поясов Гумбольдт показал атмосферную циркуляцию в виде широтного проявления главных воздушных потоков. На отдельном рисунке он изобразил три профиля гор в трех географических зонах. По этим профилям можно судить о взаимосвязи высотной и горизонтальной географической поясности. Таким образом, Гумбольдту принадлежит честь открытия закона мировой географической зональности, несмотря на то что он не употреблял термин «зона». Справедливости ради надо сказать, что у ученого в этом отношении были предшественники (например, Варрениус, творивший в эпоху Возрождения) и последователи, из которых главным стал В.В.Докучаев, открывший закон мировой географической зональности в его современном виде.

После экспедиции по России Гумбольдт неоднократно выступал в печати. Темами таких выступлений чаще всего были вопросы вулканизма, земного магнетизма и классификации землетрясений. Он рассказывал о климатологии, о причинах, вызывающих изменения изотерм, намечал эмпирические законы распределения тепла на земном шаре, приводил новые данные о положении астрономических пунктов на границе Алтая и Джунгарии, сообщал о месторождениях золота и алмазов на Урале и о многом другом. Создавая новую модель системы горных сооружений Азии, ученый считал причиной их формирования вулканическую деятельность, он наметил связь динамических и химических явлений, происходивших на поверхности земли.

Сжатые сроки путешествия часто не позволяли провести детальные наблюдения и исследования. Так, представления о закономерном расположении хребтов Азии вдоль меридианов и параллелей, о широком проявлении вулканизма в Центральной Азии позднее были опровергнуты. Однако все участники экспедиции Гумбольдта единогласно полагали, что допущенные ими неточности могут и должны быть исправлены и дополнены в будущем.

Мнения ученых о научных результатах экспедиции были положительными и порой восторженными. Выдающиеся русские ученые П.П.Семенов, Д.Н.Анучин, И.В.Мушкетов, В.А.Обручев и другие дали высокую оценку итогам исследований Гумбольдта в Азии [3, с.79–80]. Наиболее крупные европейские ученые Ф.Рихтгофен и Э.Зюсс также с похвалой отозвались о них. Рихтгофен в своей знаменитой многотомной работе, посвященной Китаю, писал, что изучение Гумбольдтом рельефа Азии составило *важное событие в истории географии благодаря методу, которым Гумбольдт обработал его результаты... В сущности Гумбольдт в своей поездке едва коснулся западной окраины центральных областей Азии, тем не менее он был первым исследователем, подвергшим сравнительному рассмотрению собранный другими материал и набросавшим картину «разгородки материка»* [по-видимому, основных черт рельефа. — *В.Ч.*], *которая хотя и нуждается во многих поправках, но по отношению к основным чертам была схвачена с замечательной верностью*. Через полстолетия Зюсс в своем знаменитом «Лике Земли» также соглашался с тем, что Гумбольдт первым дал схему географии Внутренней Азии, т.е. ее структуры. Мушкетов называл Гумбольдта великим систематиком XIX в., которому удалось дать полный свод всех данных того времени о Средней Азии, создать строго научную систему знаний по геологии и географии Азии. Изложение материала ученый, по словам Мушкетова, дал в строгой научной системе. Он писал, что Гумбольдт заложил основы для познания Старого и Нового Света *не только остроумной критикой, но и непосредственными наблюдениями*.

Поток похвал со стороны разных ученых и политических деятелей долго сопровождал Гумбольдта. В разные годы его называли ученым аристотелевского типа (Д.Н.Анучин) или новым открывателем Америки (К.Риттер). *Выдающиеся люди XVIII и XIX вв. сами были академиями — подобно Гумбольдту в наше время*, — сказал Гёте. Николай I высказался о том, что каждое появления Гумбольдта сопровождалось вспышками развития науки. Наполеон, отдавший однажды приказ об удалении Гумбольдта из Франции в 24 часа, под влиянием его открытий заявил, что последние годы своей жизни он посвятит науке. Позже академик С.В.Калесник писал, что идеи Гумбольдта стали фундаментом, на котором возводится здание современной общей географии. Советский географ Ю.Г.Саушкин отмечал, что в своих путешествиях Гумбольдт уделял внимание и природе, и человеку, и видел, что «чистой» природы не существует, что она изменена человеческой деятельностью.

Во время пребывания в России и путешествия по ней Гумбольдт общался со многими российскими учеными и инженерами, знакомился с результатами их работ. Первым русским, которого он встретил в своей жизни, стал студент В.Ю.Соймонов. Они познакомились в 1792 г., во время обучения во Фрайбергской горной академии. После бесед с Соймоновым у Гумбольдта возникло и укрепились желание посетить Россию — огромное, ориентированное по широте государство в Северной Евразии. Уже в России большое внимание Гумбольдту оказали М.М.Сперанский и Н.П.Румянцев, ученый встречался с профессором Казанского университета

И.М.Симоновым, со своим другом из Московского университета Г.И.Фишером. Он использовал материалы Д.М.Перевощикова, М.Ф.Спасского, А.И.Шренка, К.М.Бэра, Р.Ф.Генса, Н.В.Ханыкова, А.И.Левшина, В.Ю.Соймонова, Ф.И.Швецова и др. Гумбольдт внимательно изучал труды русских исследователей Азии и Мирового океана Ф.П.Литке, А.Я.Купфера, В.Я.Струве, Г.П.Гельмерсена, Н.И.Кокшарова, В.Ф.Федорова.

Разумеется, встреч и знакомств у Гумбольдта было гораздо больше. Например, посетив на Рудном Алтае Колывано-Воскресенские заводы, он встретился с П.К.Фроловым, талантливым российским инженером-изобретателем, создавшим грандиозную механизированную систему отработки месторождения, а также первую в мире надземную железную дорогу и первый железнодорожный мост.

Гумбольдт охотно общался не только с инженерами и геологами, но и с простыми людьми. И эти встречи также порой были интересными. Так, будучи в Орске, он познакомился с двадцатилетним солдатом Яном Виткевичем, который свободно говорил на десятке европейских языков, а также на фарси и местных тюркских диалектах. Гумбольдту был нужен переводчик, но вдруг выяснилось, что Виткевич — литовский шляхтич — в Орске отбывал пожизненное наказание за участие в антироссийских бунтах 1823 г. в Литве. Гумбольдт быстро выхлопотал для него помилование, Виткевича произвели в унтер-офицеры и разрешили участвовать в работе экспедиции. О его дальнейшей судьбе Гумбольдт вряд ли знал, а она была весьма необычной. После экспедиции Виткевич принял облик мусульманского шейха, долго работал в Афганистане, служа непосредственно правителю страны, убедил его принять подданство русского царя и сделать Афганистан провинцией Российской империи. Но Николай I отклонил это предложение, и англичане быстро перехватили инициативу. Тем не менее Виткевич был чрезвычайно успешным российским разведчиком.

Свое 60-летие Гумбольдт встретил в Оренбурге. В знак уважения и признания его заслуг ему подарили выкованную местными металлургами дамасскую саблю из русской стали. В честь Гумбольдта в Петербурге устраивали торжественные приемы и балы. Ему дали диплом почетного академика в серебряном футляре. В ноябре 1829 г. в честь знаменитого путешественника Академия наук провела чрезвычайную сессию, на которой Гумбольдту была вручена золотая медаль екатерининских времен, выбитая по распоряжению Академии в 1827 г. Эренберг и Розе получили дипломы членов-корреспондентов академии. Путешествие Гумбольдта по России окончательно завершилось 15 декабря 1829 г., когда он покинул Петербург.

Имя великого ученого увековечено на географических картах, в учебниках зоологии и ботаники. На Луне есть Море Гумбольдта. В Северной Америке есть горы Гумбольдта и река Гумбольдт, в Калифорнии есть Гумбольдтов залив, а вокруг него целая местность Страна Гумбольдт с городком Гумбольдт. Есть ледник Гумбольдта, Гумбольдтово (еще его называют Перуанским) течение вдоль западной окраины Южной Америки, Гумбольдтовы горы в Австралии, Новой Гвинее, Новой Зеландии. На Цейлоне растет дерево *Humboldia laurifloria*, в честь ученого названы многие другие растения, и даже целый пояс растительности в Андах носит название Гумбольдтово царство. Есть минерал гумбольдтит и журнал «Гумбольдт», в его любимом городе Париже имя Гумбольдта носит маленькая улочка между набережной Марны и ул. Кольмар.

Необходимо упомянуть еще об одной важной черте ученого — о стремлении к художественной обработке научных результатов. Его известные «Картины природы» (1808), публичные лекции (1827–1828) и знаменитый тридцатитомный «Космос» пользовались популярностью во многих странах — везде, где жили люди, интересующиеся наукой.

Бывало, Гумбольдт высказывал множество общих идей, которые другие ученые подхватывали и развивали. Гёте сравнивал его с *источником с тысячами труб: подставляй только ведра, и изо всех получишь живительную влагу*. Всю жизнь Гумбольдт посвятил науке. *Мою биографию ищите в моих работах*, — говорил он. Только в области науки он занимал активную позицию, а ко всему другому относился спокойно. Он воздерживался от активной политической деятельности, однако полностью устраниться от политики не смог. Будучи другом двух прусских королей (второй — Фридрих Вильгельм IV, сменивший предыдущего), Гумбольдт порой принимал участие в делах государства. Обаятельный, любезный, остроумный, красноречивый (вспомним слова Пушкина о нем), удивительно легко и быстро сходившийся с самыми разными людьми, он как нельзя лучше годился для этой роли, хотя и не прошел дипломатической школы. Он всегда оставался сторонником либеральных идей и был далек от революционного и реакционного фанатизма.

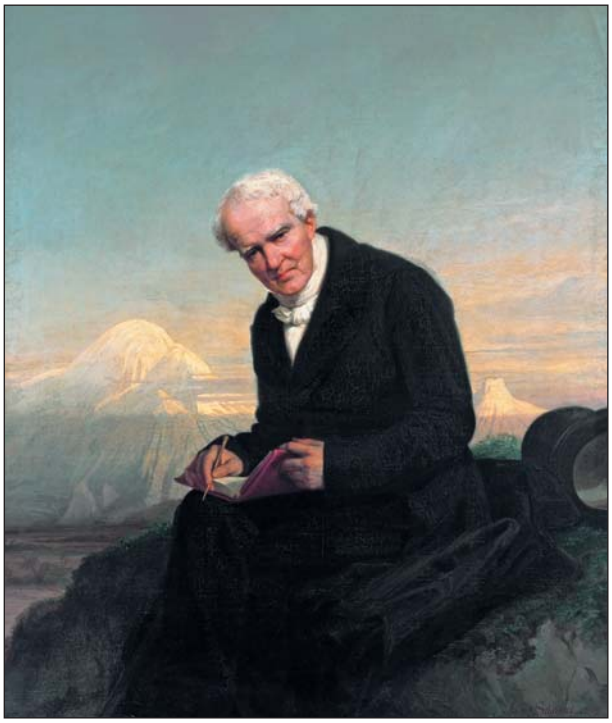
Заканчивая очерк, вспомним одно из замечательных личных качеств Гумбольдта — его доброту, которую он пронес через всю жизнь. Приведу несколько примеров. Когда знаменитый естествоиспытатель Луи Агассис из-за отсутствия средств вынужден был прекратить занятия в Париже, Гумбольдт самым деликатным способом предложил ему финансовую помощь. После того как молодой начинающий ученый Юстус фон Либих прочел в Париже одну из своих первых работ, Гумбольдт

сразу познакомился с ним и оказал денежную поддержку. Благодаря ей перед молодым химиком открыли двери все лаборатории и институты. Множество других ученых, путешественников и литераторов находили у Гумбольдта поддержку, а в случае надобности и материальную помощь и протекцию.

Последние годы Гумбольдта были невеселыми. Один за другим умирали его соратники и друзья. Он остался один, в ореоле своей славы, старый и уставший. В конце апреля 1859 г. Гумбольдт простудился и слег, смерть приближалась быстро, но сознание не покидало его до последнего дня. Скончался Гумбольдт 6 мая 1859 г.

В начале статьи приведены замечательные слова Гумбольдта о роли фактов в получении научных выводов. Мы можем считать их завещанием ученого, шагнувшего далеко за пределы своего творчества и своей жизни. Не зря всю жизнь Гумбольдт был уверен, что *человек должен стремиться к великому и хорошему*!

Академик К.К.Марков считал Гумбольдта своим соотечественником: *Пространства России Гумбольдт охватил вторым из двух своих путешествий. Поэтому можно по праву называть Гумбольдта не только мировым, не только немецким, но и русским географом* [2, с.85]. Гумбольдт и сам хотел стать русским. Он писал: *Мое желание — чтобы большинство ученых в экспедиции были русские, они будут бодрее переносить лишения и не станут так сильно стремиться обратно. Я не знаю ни слова по-русски, но я сделаюсь русским, как я сделался испанцем. Все, за что я берусь, я исполняю с энтузиазмом*. И эти слова оказались истинной правдой.■



Гумбольдт в старости. Портрет работы Юлиуса Шрадера (1859).

Литература / References

1. *Щуровский Г.Е.* Александр фон-Гумбольдт по отношению к России. М., 1869. [*Schurovsky G.E.* Alexander von Humboldt in relation to Russia. Moscow, 1869. (In Russ.).]
2. *Марков К.К.* Александр Гумбольдт (1769–1859). Известия Академии наук СССР. Серия географическая. 1969; 6: 85–97. [*Markov K.K.* Alexander Humboldt (1769–1859). News of the Academy of Sciences of the USSR. Geography. 1969; 6: 85–97. (In Russ.).]
3. *Есаков В.А.* Александр Гумбольдт в России. М., 1959. [*Yesakov V.A.* Alexander von Humboldt in Russia. Moscow, 1959. (In Russ.).]

Alexander von Humboldt

To the 250th Anniversary of the Birth and the 190th Anniversary of the Expedition to Russia

V.P.Chichagov

Institute of Geography, RAS (Moscow, Russia)

The immense contribution of Alexander von Humboldt, the great natural scientist of the 17th19th centuries, into the world science cannot be overestimated. During his expeditions to South America in 1799–1804 and Russia in 1829 he gathered a vast amount of materials later summarized in 636 published works including 30-volume Kosmos and three-volume Asie Centrale. His scholarly interests were varied. He created the orographic scheme of Central Asia, calculated the average heights of the continents, demonstrated the asymmetry of the Earth. He enriched climatology with the conception of isotherms; he substantiated the existence of two climates—solar and real. He gave ground to the phytogeography as a part of biogeography and identified three zones—tropical, temperate, and cold; he classified all plants by 17 formations and was the first to discuss the subject of productivity of the lower organisms. He described latitudinal zoning and altitudinal zonation. At the same time he also studied the phenomenon of terrestrial magnetism, petrography, mineralogy, and mining. In 1829, Humboldt was elected Honorary Member of the Imperial Russian Academy of Sciences.

Keywords: South America, Russia, Caspian Sea, geomorphology, geography of plants, climatology, latitudinal zonation, altitudinal zonation.

Лауреаты Нобелевской премии 2019 года

По физике — Джеймс Пиблс, Мишель Майор и Дидье Кело

Нобелевская премия по физике 2019 года присуждена канадцу Джеймсу Пиблсу — за «теоретические исследования в области космологии», и швейцарцам Мишелю Майору и Дидье Кело — за «открытие экзопланеты на орбите солнцеподобной звезды».

Ключевые слова: состав Вселенной, реликтовое излучение, экзопланеты, 51 Пегаса b.

В этом году Нобелевская премия по физике оказалась астрономической: она была разделена пополам между канадско-американским исследователем Джеймсом Пиблсом, работающим в области космологии, и швейцарскими астрофизиками Мишелем Майором и Дидье Кело, обнаружившими первую экзопланету (они получили по 1/4 премии). Рассказ о физической сути открытий, заслуживших Нобелевскую премию, начнем с космологической части.

Джеймс Пиблс (James Peebles) родился 25 апреля 1935 г. в г.Сен-Бонифасе (Канада), окончил Университет Манитобы (г.Виннипег). В 1958 г. стал сотрудником Принстонского университета (США). Там же в 1962 г. под руководством Роберта Дике защитил диссертацию по астрономии, затем стал профессором этого университета. Ныне почетный эйнштейновский профессор — должность была учреждена в память Альберта Эйнштейна (Albert Einstein Professor of Science Emeritus).

Когда Пиблс начинал свою научную деятельность, наши представления о Вселенной весьма отличались от современных. Было ясно, что она расширяется, но выбор между ее замкнутой и открытой моделями Эйнштейна—Фридмана был не определен. Кроме этих простых вариантов существовала также модель Леметра, учитывающая лямбда-член космологических уравнений Эйнштейна. Именно эта модель бесконечно расширяющейся Вселенной сегодня стала общепринятой, однако вместо термина «лямбда-член» стали употреблять термин «темная энергия», что только

Джеймс Пиблс.

Мишель Майор.

Дидье Кело.

DOI:10.7868/S0032874X1912007X

вносит путаницу с «темной материей», которая имеет другую физическую природу.

Многие ученые внесли существенный вклад в изменение наших представлений о Вселенной. Назовем тех, чей научный вклад сравним с работами Пиблса, но эти исследователи не дожили до Нобелевского почета. Это Роберт Дике (Robert Dicke, 1916–1997) и Дэвид Уилкинсон (David Wilkinson, 1935–2002), одни из первооткрывателей реликтового чернотельного излучения с температурой 2.7 К. Справедливо было бы добавить к этим именам Георгия Антоновича Гамова (1904–1968), предсказавшего это явление теоретически, и Якова Борисовича Зельдовича (1914–1987), создавшего российскую школу астрофизиков. Нобелевскую премию в 1978 г. за открытие реликтового излучения получили инженеры компании «Bell» Арно Пензияк и Роберт Вильсон, однако осознали его роль в эволюции Вселенной не они, а теоретики-астрофизики.

Важнейшим фактом стало осознание двух важнейших следствий убывания температуры этого излучения при расширении Вселенной. На ранних стадиях температура падает обратно пропорционально красному смещению z. При $z > 10^9$ средняя плотность Вселенной превышает плотность в ядрах нейтронных звезд, а вещество представляет собой нейтронную жидкость с температурой выше $T = 0.1$ МэВ $= 10^9$ К. При дальнейшем расширении нейтроны распадаются на протоны и электроны, а несколько протонов могут образовывать ядра дейтерия и гелия. Пиблс рассчитал, как проходит синтез ядер гелия, в итоге их оказалось 25% по массе, а дейтерия — около 1% [1]. Остальная масса осталась в виде протонов и электронов, а доля следующего элемента, лития, оказалась ничтожно мала. Остальные элементы Таблицы Менделеева образовались много позднее, при взрывах сверхновых или при слиянии нейтронных звезд.

Второе эпохальное событие в истории Вселенной произошло при $z = 1000$, когда температура снизилась примерно до $T = 0.2$—0.3 эВ $= 3000$ К. Началась рекомбинация, т.е. соединение протонов и электронов в атомы водорода [2, 3]. С этого момента Вселенная стала прозрачной, поскольку излучение отделилось от вещества.

Пиблс также внес заметный вклад в понимание того, какую информацию о ранней Вселенной несут флуктуации реликтового излучения [4]. Эта работа стимулировала дальнейшие измерения спектральных характеристик черного излучения, а именно создание и запуск NASA в 2001 г. космического аппарата WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Его измерения позволили уточнить современный состав Вселенной и точнее установить ее возраст: 13.772±0.059 млрд лет.

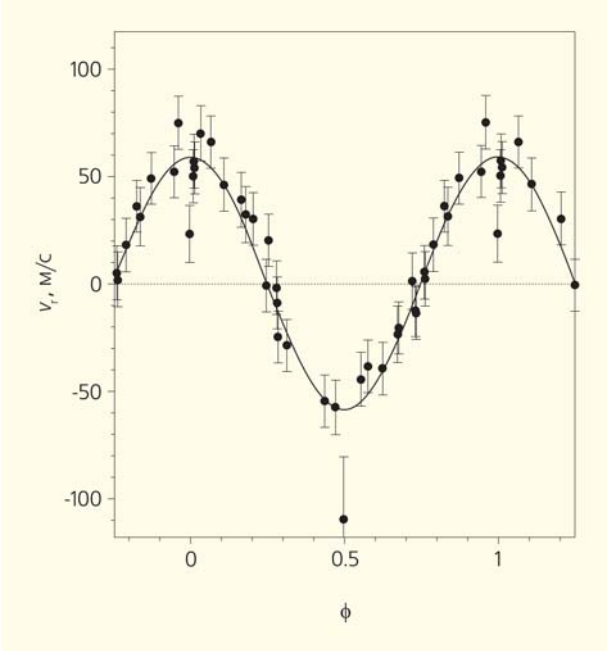
Обратимся к описанию заслуг лауреатов второй половины Нобелевской премии по физике 2019 года.

Мишель Майор (Michel Mayor) родился 12 января 1942 г. в Лозанне (Швейцария). В 1966 г. получил степень магистра в области физики в Университете Лозанны, в 1971 — докторскую степень в области астрономии в Женевской обсерватории. Работал также в Институте астрономии Кембриджского университета, в Европейской обсерватории в Чили и в Институте астрономии Гавайского университета.

Дидье Кело (Didier Queloz) родился 23 февраля 1966 г. в Лозанне. Окончил Женевский университет. Защитил диссертацию под руководством Майора. Вместе они открыли первую экзопланету — планету, обращающуюся вокруг иной звезды.

Майор и Кело разработали и создали оптический спектрометр нового типа, способный измерять доплеровское смещение линий. Спектрометр был установлен в Обсерватории Верхнего Прованса (Франция). С его помощью в 1994 г. началось регулярное измерение лучевых скоростей у 142 звезд Галактики, относительно близких к Солнцу. Одной из этих звезд была 51 Пегаса, находящаяся на расстоянии 14.5 пк или 50 св. лет от нас. Ее спектральный класс — 5GV — тот же, что у Солнца, ее свети-

Участок неба вокруг звезды 51 Пегаса. Изображение получено Европейской южной обсерваторией (ESO) в 2015 г.



Фазовая кривая скорости звезды 51 Пегаса. Единичный фазовый угол соответствует периоду обращения планеты, равному 4.2293 ± 0.0011 сут. Объединены данные, полученные с сентября 1994 по сентябрь1995 г. Сплошная кривая — интерполяция данных [5].

мость тоже близка к солнечной, близки и периоды собственного вращения звезд — около 30 сут.

Уже в январе 1995 г. у этой звезды были обнаружены допплеровские смещения спектральных линий, изменявшиеся с периодом 4.2293 ± 0.0011 сут. Они вызваны гравитационным влиянием на звезду обращающейся вокруг нее планеты. Наклон орбиты i к лучу наблюдения неизвестен, поэтому массу планеты M_2 точно вычислить невозможно. По амплитуде вариации скоростей авторы получили соотношение $M_2 \sin i = 0.47 \pm 0.02\ M_J$.

Из него следует, что масса этой экзопланеты больше половины массы Юпитера (M_J). А ее среднее расстояние до звезды (большая полуось ее орбиты) оказалось очень небольшим, сравнимым с расстоянием от Солнца до Меркурия.

На момент публикации открытия этот результат казался парадоксальным, теоретики подвергали сомнениям возможность образования столь массивной планеты на таком малом расстоянии от звезды. Однако теория образования Солнечной системы, к сожалению, не может объяснить, как совместить медленное вращение звезды с большим угловым моментом планет-гигантов. Поэтому открытие близкой к звезде планеты с периодом обращения, меньшим периода вращения звезды, требует серьезного пересмотра сложившихся теорий звездообразования.

Открытие Майора и Кело стимулировало создание космического телескопа «Кеплер», разработанного специально для поиска экзопланет*. За время своей работы с 2009 по 2015 г. «Кеплер» обнаружил более 4 тыс. планетных систем, в более чем 600 из них — по нескольку планет. Существенную долю этих экзопланет составляют газовые гиганты, похожие на Юпитер, но есть среди них и несколько планет, на поверхности которых может существовать жидкий или покрытый льдом океан.

© доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**
Институт теоретической физики
имени Л.Д.Ландау РАН (Москва, Россия)

* Подробнее о методах поиска экзопланет см.: *Маров М.Я., Шевченко И.И.* Экзопланеты // Природа. 2014. №6. С.3.

Литература / References

1. *Peebles P.J.E.* Primeval Helium abundance and the Primeval Fireball. Physical Review Letters. 1966; 16: 410–413.
2. *Peebles P.J.E.* Recombination of the Primeval Plasma. Astrophysical Journal. 1968; 153: 1–11.
3. *Зельдович Я.Б., Курт В.Г., Сюняев Р.А.* Рекомбинация водорода в горячей модели Вселенной. ЖЭТФ. 1969; 55: 278. [*Zel'dovich Ya.B., Kurt V.G., Syunyaev R.A.* Recombination of hydrogen in the hot model of the Universe. JETP. 1969; 28(1): 146.].
4. *Peebles J.* Large scale background temperature and mass fluctuations due to scale invariant primeval perturbations. Astrophysical Journal. 1982; 263: L1—L5.
5. *Mayor M., Queloz D.* A Jupiter-mass companion to a solar-type star. Nature. 1995; 378: 355–359.

2019 Nobel Prize Laureates In Physics: James Peebles, Michel Mayor, and Didier Queloz

A.V.Byalko
Landau Institute for Theoretical Physics, RAS (Moscow, Russia)

The 2019 Nobel Prize in Physics was awarded to Canadian James Peebles "for theoretical discoveries in physical cosmology", and to the Swiss Michel Mayor and Didier Queloz "for the discovery of an exoplanet orbiting a solar-type star".

Keywords: Nobel Prize, composition of the Universe, cosmic microwave background radiation, exoplanets, 51 Pegasi b.

По химии — Джон Гуденаф, Стэнли Уиттингем и Акира Ёсино

Нобелевская премия по химии 2019 г. присуждена за разработку литий-ионных батарей. Она разделена поровну между американцем Джоном Гуденафом, британцем Стэнли Уиттингемом, работающим в США, и японцем Акирой Ёсино.

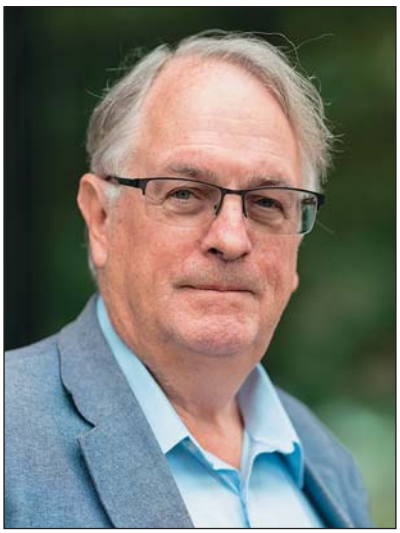
Джон Гуденаф (John Bannister Goodenough) родился 25 июля 1922 г. в Йене (Германия); его родители были американцы. Во время Второй мировой войны он служил в армии США в качестве метеоролога. В 1944 г. окончил Йельский университет, в 1947 г. защитил диссертацию по физике в Чикагском университете под руководством Кларенса Зенера. Затем в течение 24 лет работал в лаборатории Линкольна Массачусетского технологического института, руководил группой исследователей по разработке оперативных запоминающих устройств. В 1970-х — начале 1980-х Гуденаф заведовал лабораторией неорганической химии в Оксфордском университете, где занялся литий-ионными аккумуляторными батареями. Опираясь на работу Стэнли Уиттингема, он смог удвоить емкость литий-ионных аккумуляторов. (Затем японец Акира Ёсино внес дополнительные улучшения в конструкцию батареи, изготовил первый прототип современного литий-ионного аккумулятора и запатентовал его в 1985 г.; в 1991 г. патент приобрела компания «Sony».) С 1986 г. Гуденаф — профессор Техасского университета в Остине. Он продолжает исследования материалов для аккумуляторов, надеясь создать «твердое топливо», способствующее развитию электромобилей. Джон Гуденаф стал самым старым Нобелевским лауреатом — на момент присуждения премии ему было 97 лет.

Майкл Стэнли Уиттингем (Michael Stanley Whittingham) родился 22 декабря 1941 г. в Ноттингхэме (Англия). Окончил Оксфордский университет, там же в 1968 г. защитил диссертацию по химии. С 1968 по 1972 г. преподавал в Стэнфордском университете (США), затем работал в нефтяной компании «Эксон» (Exxon) в Линдене (штат Нью-Джерси) и «Шлюмберже» (Schlumberger) — крупнейшей американской нефтесервисной компании. С 1994 г. — в Бингемтонском университете (штат Нью-Йорк), в настоящее время — заслуженный профессор химии и материаловедения. Исследования Уиттингема, начатые им во время работы в нефтяных компаниях, заложили основу для последующих разработок литиевых батарей. Его можно назвать отцом-основателем литиевых аккумуляторов.

Акира Ёсино (Akira Yoshino) родился 30 января 1948 г. в Осаке (Япония). В 1972 г. окончил Киотский университет. Затем работал в области химической промышленности — в компаниях «Asahi Kasei Corporation» и «A & T Battery Corporation» (совместное предприятие «Asahi Kasei» и «Toshiba»). В настоящее время профессор университета Мейхо (Meijo University) в Нагое.

Подробный рассказ о литий-ионных аккумуляторах, широко распространенных в современной бытовой технике, и о сути исследований, удостоенных Нобелевской премии, читайте в следующем номере журнала «Природа».

Джон Гуденаф.



Стэнли Уиттингем.

Акира Ёсино.

По физиологии или медицине — У.Кэлин, сэр П.Рэтклифф, Г.Л.Семенза

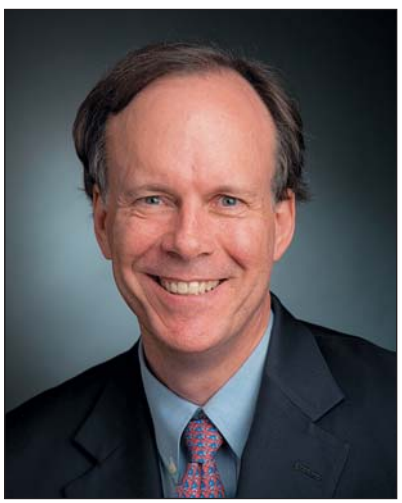
Нобелевская премия 2019 г. по физиологии или медицине присуждена «за открытие механизмов, посредством которых клетки воспринимают доступность кислорода и адаптируются к ней». Премия разделена в равных долях между американцами Уильямом Кэлином и Греггом Семензой, а также британцем Питером Рэтклиффом. В заявлении Нобелевского комитета отмечается, что исследования проливают свет на механизм одного из самых необходимых для жизни адаптивных процессов — приспособление клетки к постоянно изменяющемуся уровню кислорода. Несмотря на то что ученые проводили исследования независимо друг от друга, в совокупности их работы открывают широкие возможности для разработки новых многообещающих способов борьбы с анемией, раком и другими заболеваниями.

Ключевые слова: Нобелевская премия, гипоксия, кислород, фактор, индуцируемый гипоксией (HIF), эритропоэтин, рак, анемия.

В 2019 г. Нобелевской премии в области физиологии или медицины удостоены Уильям Кэлин, сэр Питер Рэтклифф и Грегг Семенза. Их работы помогли обнаружить молекулы, которые служат ключевыми игроками в ответе клеток на изменения концентрации кислорода в среде, и выстроить молекулярный механизм адаптации к гипоксии (недостатку кислорода). В 2016 г. работы этих ученых были отмечены другой престижной наградой — премией Альберта Ласкера (Albert Lasker Basic Medical Research Award), которая ежегодно присуждается в США за фундаментальные медицинские исследования.

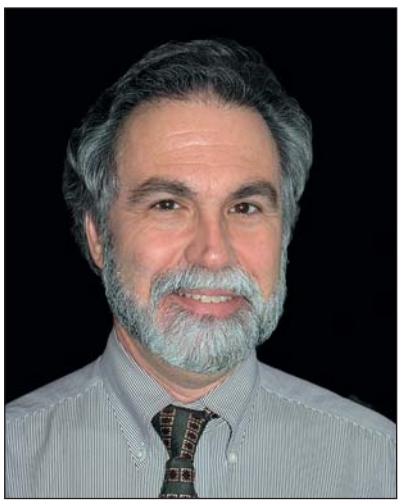
Уильям Кэлин младший (William George Kaelin) родился в 1957 г. в Нью-Йорке. Получил медицинское образование в Университете Дьюка (Duke University, Durham) в 1982 г. Прошел терапевтическую подготовку в Университете Джонса Хопкинса в Балтиморе (Johns Hopkins University, Baltimore), где специализировался на онкологии, и позднее — в Институте онкологии имени Дейны-Фарбера (Dana-Farber Cancer Institute, Boston). Там же, будучи аспирантом в лаборатории Дэвида Ливингстона (David Livingston), начал исследования белков-ингибиторов роста опухолей. В 1992 г. основал свою научно-исследовательскую лабораторию в Институте рака Дейны-Фарбера и в 2002 г. стал профессором медицины в Медицинской школе Гарвардского университета (Harvard Medical School). С 1998 г. — научный сотрудник Медицинского института Говарда Хьюза (Howard Hughes Medical Institute).

Сэр Питер Рэтклифф (Sir Peter John Ratcliffe) родился в 1954 г. в Ланкашире, Великобритания (Lancashire, United Kingdom). Изучал медицину в одном из колледжей Кэмбриджского университета (Gonville and Clais College, Cambridge University). Прошел клиническую подготовку в одной из старейших больниц Лондона — госпитале Святого Варфоломея, а затем переехал в Оксфорд, где получил специализацию по нефрологии. В 1990 г. как старший стипендиат фонда Wellcome Trust основал в Университете Оксфорда (Oxford University) независимую лабораторию по исследованию гипоксии. С 1996 г. — профессор, а с 2003 г. — профессор име-



Уильям Кэлин.

Сэр Питер Рэтклифф.



Грегг Семенза.

DOI:10.7868/S0032874X19120081

ни Наффилда (Nuffield Professor) и руководитель отдела по клинической медицине имени Наффилда Университета Оксфорда (Nuffield Department of Clinical Medicine, Oxford University). Эту должность он занимал до 2016 г. Ныне сэр Рэтклифф — член Королевского общества (Royal Society) и Академии медицинских наук (Academy of Medical Sciences), а также почетный член Американской академии искусства и науки (American Academy of Arts and Sciences). Он занимает посты директора по клиническим исследованиям в Институте Фрэнсиса Крика в Лондоне (Francis Crick Institute, London), директора Института целевых исследований в Оксфорде (Target Discovery Institute, Oxford) и сотрудничает с Институтом исследования рака имени Людвига (Ludwig Institute for Cancer Research). В 2014 г. был удостоен почетной британской награды — посвящен в рыцари-бакалавры (англ. Knight Bachelor) и имеет право на титулование сэр.

Грегг Семенза (Gregg L.Semenza) родился в 1956 г. в Нью-Йорке. Увлечение наукой появилось у него благодаря школьному учителю биологии, а рождение у друга его семьи ребенка с синдромом Дауна подтолкнуло к изучению медицинской генетики. В 1978 г. получил степень бакалавра в Гарвардском университете (Harvard Universty), где принимал участие в картировании генов 21 хромосомы. Медицинское образование и степень доктора философии получил в 1984 г. в Пенсильванском университете (University of Pennsylvania, School of Medicine, Philadelphia). Впоследствии проходил интернатуру со специализацией по педиатрии в госпитале при Университете Дьюка (Duke University Hospital, Durham), а с 1986 г. был постдоком в Университете Джонса Хопкинса, где основал независимую исследовательскую группу. Семенза стал профессором в Университете Джонса Хопкинса в 1999 г., а с 2003-го — директором-основателем Программы по сосудистой биологии Института клеточной инженерии того же университета (Vascular Research Program, Johns Hopkins Institute for Cell Engineering). В настоящее время — именной профессор (C.Michael Armstrong Professor), профессор на кафедрах педиатрии, радиационной онкологии, биохимии, медицины и онкологии в Школе медицины Университета Джонса Хопкинса, член Института медицинской генетики, а также аффилированный сотрудник Института нанобиотехнологий.

Нобелевская история исследований чувствительности организма человека к кислороду началась в 1931 г., когда Нобелевской премии по физиологии или медицине был удостоен немецкий биохимик и физиолог Отто Генрих Варбург (Otto Heinrich Warburg; 1883–1970) за открытие природы и механизма действия дыхательных ферментов. Он впервые показал, что клеточное дыхание катализируется особыми белками, и детально описал цитохромоксидазу — терминальный фермент аэробной дыхательной цепи митохондрий, которая катализирует перенос электронов с цитохрома на кислород с образованием воды.

В том же десятилетии, в 1938 г., Нобелевскую премию по физиологии или медицине получил бельгийский физиолог Корней Хейманс (Corneille Heymans; 1892–1968) за открытие роли каротидного синуса сонной артерии в регуляции дыхания. В каротидном синусе находятся хеморецепторы, которые посылают нервные импульсы к сосудодвигательному и дыхательному центрам в продолговатом мозге и увеличивают интенсивность дыхательных движений, обеспечивая быстрый рефлекторный ответ на пониженное содержание кислорода в организме (гипоксию). Поэтому мы начинаем чаще и глубже дышать, когда, например, занимаемся спортом или поднимаемся в гору.

В дополнение к быстрой адаптации к пониженному уровню кислорода, которую контролируют каротидные синусы, существует еще один фундаментальный механизм. При длительном воздействии гипоксии (например, в условиях высокогорья или во время интенсивных физических тренировок) у людей увеличивается содержание красных кровяных клеток (эритроцитов) в крови. Отвечает за этот феномен гормон эритропоэтин (англ. Erythropoietin, EPO), который вырабатывается специализированными клетками почек, а также перисинусоидальными клетками печени. Эритропоэтин управляет делением и дифференцировкой клеток-предшественников эритробластов в костном мозге и приводит к выбросу в кровеносное русло эритроцитов, основная функция которых — доставка кислорода к органам и тканям путем связывания с гемоглобином. Ген эритропоэтина был клонирован и охарактеризован в 1985 г. [1]. В настоящее время рекомбинантный EPO используется для лечения некоторых видов анемии, связанных с хронической почечной недостаточностью, воспалительных процессов, миелодисплазии (нарушения кроветворения), а также в онкологии при химиотерапии.

Эритропоэтин также прославился как нелегальный допинг-препарат в спорте высоких достижений. Этот гормон увеличивает кислородную вместимость крови, тем самым увеличивая выносливость спортсменов в таких видах спорта как велоспорт, бег, биатлон, беговые лыжи. В результате применения EPO, например, в 2012 г. был пожизненно дисквалифицирован известный американский велогонщик Лэнс Армстронг.

Установлено, что падение парциального давления кислорода приводит к изменениям в транскрипции более чем 300 генов. Эти гены отвечают за самые разнообразные функции — от регуляции клеточного метаболизма, регенеративных и иммунных процессов до контроля внутриутробного

развития организма и ангиогенеза. Тем не менее, несмотря на интенсивные исследования, еще большую часть XX в. человечеству не было известно, каким образом постоянно меняющееся количество кислорода приводит к изменению фундаментального уровня экспрессии генов. Три нобелевских лауреата этого года, работая независимо друг от друга, разгадали тайну, которая будоражила умы ученых с XIX в.

История открытия механизма клеточного кислородного сенсора — фактора, индуцируемого гипоксией (Hypoxia Inducible Factor, HIF), — представляет собой элегантную логическую последовательность. Представим себе задачу, которая стояла перед будущими нобелевскими лауреатами. Известно: образование эритроцитов (эритропоэз) контролируется гормоном EPO и его выработка зависит от количества кислорода в окружающей среде. Нужно выяснить: как осуществляется этот контроль? С чего начинать поиски? Тут нужно пояснить сам механизм регуляции транскрипции генов, т.е. синтеза РНК на основе последовательности матрицы ДНК. На основе информационной (матричной) РНК впоследствии будет осуществляться синтез белков, которые и отвечают за метаболическую адаптацию и жизнедеятельность клетки в условиях гипоксии. Любой ген состоит из кодирующей и регуляторной областей. Только небольшая часть гена представлена кодирующей последовательностью, т.е. несет информацию об аминокислотной последовательности белка. Кроме кодирующих участков на 5'-конце гена располагается регуляторная область (промотор), с которой связываются факторы транскрипции. Они в свою очередь взаимодействуют с сайтами связывания и выполняют функцию дирижера, который управляет транскрипцией и способен стимулировать или подавлять экспрессию генов.

Таким образом, важным шагом к разгадке феномена регуляции эритропоэза кислородом могло стать определение регуляторного участка в гене EPO, который отвечает за чувствительность к гипоксии. Этим и занялся Семенза, разрезав транскрипционный регуляторный элемент гена EPO на маленькие кусочки.

Используя генетически модифицированных мышей, он выявил специфические последовательности ДНК, отвечающие за синтез эритропоэтина при гипоксии, а также показал их способность связываться с некоторыми клеточными факторами, два из которых индуцировались при анемии и в печени, и в почках [2, 3]. К 1992 г. был выделен минимальный участок 3'-концевого фрагмента гена EPO длиной в 50 нуклеотидов, который можно было использовать в клеточных линиях как энхансер (усилитель клеточного ответа) для изучения факторов транскрипции при гипоксии [4]. Этот участок Семенза назвал элементом ответа на гипоксию (Hypoxia Response Element, HRE). Усилия по изолированию белкового комплекса, который связывается с этой последовательностью ДНК, увенчались успехом к 1995 г. Семенза выделил и клонировал фактор транскрипции, который присутствовал в экстрактах ядер клеток, выращенных в условиях гипоксии, назвав его HIF-1 [5]. Анализ аминокислотной последовательности и последующее клонирование соответствующей ДНК показали, что он — гетеродимер, т.е. состоит из двух субъединиц [6]. Одна из них, открытая в лаборатории Семензы, была названа HIF-1α, вторая — HIF-1β, хотя потом оказалось, что она уже была описана как ядерный переносчик рецептора ароматических углеводородов (Aryl hydrocarbon Receptor Nuclear Translocator, ARNT). Так выяснилось, что фактор HIF-1 способен к переносу в ядро и связыванию с ДНК-последовательностью энхансера именно в виде двойного белкового комплекса HIF-1α/HIF-1β.

Белок ARNT образует гетеродимеры с некоторыми другими белками, а поскольку их активность не зависит от кислорода, вскоре стало ясно, что HIF-1α — именно тот компонент, который и отвечает за чувствительность к гипоксии. При высокой концентрации кислорода количество белка HIF-1α в клетке ничтожно мало. Когда же концентрация кислорода падает, количество этого белка увеличивается и он может образовывать комплекс с HIF-1β и связываться с ДНК генов, обеспечивающих адаптацию к недостатку кислорода. Сейчас открыто уже целое семейство этих белков (HIF-1α, HIF-2α и HIF-3α), чье содержание и функции зависят от типа клеток.

Одновременно регуляцией активности гена эритропоэтина занимался и сэр Рэтклифф. Обе исследовательские группы показали, что чувствительный к гипоксии фактор транскрипции не только работает в отдельных клетках почек, но и управляет рядом метаболических процессов во множестве клеточных линий [7]. Таким образом, была продемонстрирована универсальность и функциональная значимость кислородного сенсора.

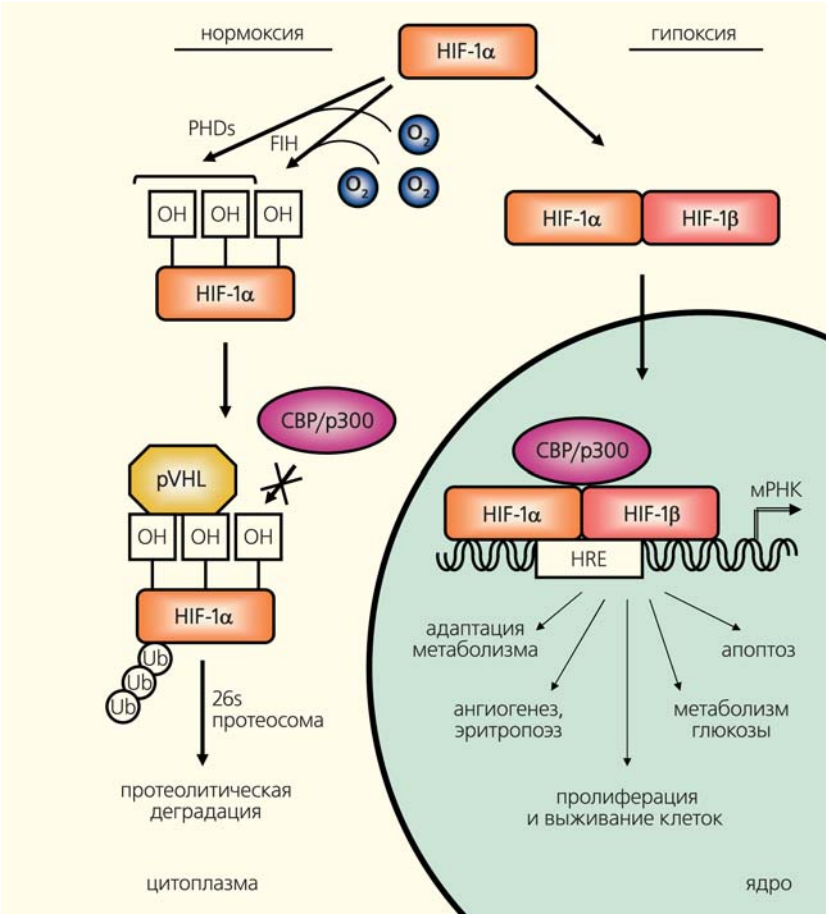
В конце 1990-х годов результаты, полученные в нескольких лабораториях, включая лабораторию Рэтклиффа, показали, что уровень HIF-1α в клетке регулируется изменением в стабильности белка, а не в транскрипции гена или синтеза белка. Выяснилось, что в деградации HIF-1α принимает участие убиквитин-протеасомная система: цепочки убиквитина, добавленные к белку, помечают его и приговаривают к уничтожению протеасомой [8, 9]. Впоследствии в белке HIF-1α был даже выделен ответственный за его деградацию участок — кислород-зависимый деградационный домен (Oxygen-Dependent degradation Domain, ODD) [9]. Интерес-

но, что открытие роли убиквитина в протеасомной деградации белка тоже было отмечено Нобелевской премией: в 2004 г. ее присудили двум израильским биологам — Аарону Цихановеру (Aaron Ciechanover), Авраму Хершко (Avram Hershko) и одному американскому — Ирвину Роузу (Irwin Rose)*.

Примерно в то же время, в 1995 г., третий нобелевский лауреат Уильям Кэлин исследовал довольно редкое генетическое заболевание — болезнь Гиппеля—Ландау. Оно проявлятся в основном в высокой предрасположенности к возникновению рака (сильно васкуляризированных опухолей, как правило, в головном мозге и сетчатке глаза). Выяснилось, что это заболевание проявляется в результате сбоя в работе гена *VHL* (von Hippel-Lindau tumor suppressor gene). В лаборатории Кэлина изолировали и клонировали кодируемый этим геном белок (pVHL), а затем вводили его в раковые клетки с мутантным геном *VHL*, что угнетало развитие опухоли [10].

Во время пресс-конференции в Дейна-Фарбер Кэлин прокомментировал получение Нобелевской премии: *Должен признаться, что я, как и большинство ученых, разрешал себе помечтать, что однажды это случится. Когда я был молод, мой отец очень любил рыбалку, секрет успеха которой кроется в знании правильного места, где будет хороший улов. В свое время, я правильно понял, что болезнь Гиппеля-Ландау и была тем самым удачным местом рыбалки.*

В 1996 г. группа Кэлина показала, что в клеточных линиях с дефектным геном *VHL* наблюдается избыточная продукция целого ряда белков гипоксического ответа [11]. Все это подводило к мысли, что кислородная регуляция HIF-1 и pVHL-зависимое образование опухолей могли быть каким-то образом взаимосвязаны, но как именно, оставалось неясно.



Механизм регуляции фактора транскрипции HIF-1α в условиях нормального (нормоксия) и ограниченного (гипоксия) снабжения кислородом [18]. При нормоксии белок HIF-1α гидроксилируется пролилгидроксилазами (PHDs). Эта реакция происходит только в присутствии кислорода и служит сигналом к взаимодействию с белком pVHL. Образование белкового комплекса pVHL с HIF-1α приводит к полиубиквитированию последнего и направляет его на деградацию 26s протеасомой. Гидроксилирование белка HIF-1α фактором, ингибирующим HIF (FIH), блокирует образование комплекса HIF-1 с коактиваторами транскрипции CBP/p300 и тем самым снижает экспрессию генов-мишеней HIF-1. В условиях гипоксии ферменты PHD неактивны. Белок HIF-1α избегает деградации и накапливается в ядре, где связывается со своим партнером HIF-1β и образует коактиваторный комплекс с участием CBP/p300. Фактор транскрипции HIF связывается с генами, регуляторная область которых содержит последовательности HRE (элементы ответа на гипоксию) и активирует их экспрессию.

Разгадка пришла в 1999 г., когда Рэтклифф с коллегами нашли недостающий компонент между pVHL и HIF-1α [12]. Им оказался комплекс убиквитин-лигаза E3, а белок pVHL, будучи частью этого комплекса, выполняет роль якоря и направляет HIF-1α на протеолиз.

Теперь оставалось только понять, каким образом pVHL распознает HIF-1α и приговаривает его к смерти только в присутствии кислорода. Над этой проблемой работали лаборатории Кэлина и Рэтклиффа одновременно, а результаты были опубликованы в 2001 г. в журнале Science буквально на соседних страницах [13, 14]. Оказалось, что pVHL распознает HIF-1α только при гидроксилировании

* Подробнее см.: *Белянова Л.П.* Лауреаты Нобелевская премии 2004 года по химии — А.Цихановер, А.Хершко, И.Роуз // Природа. 2005. №1. С.74–76.

остатков пролина в его кислород-зависимом домене (ODD) ковалентной модификации, которая зависит от наличия доступного кислорода. Таким образом все части пазла соединились в красивую картинку. При гипоксии, в отсутствие кислорода, гидроксилирование не происходит, а значит pVHL не может узнать HIF-1α. В свою очередь HIF-1α не убиквитинируется и избегает разрушения протеасомой. Происходит накопление белка HIF-1α в клетке, он связывается с партнерской субединицей HIF-1β и активирует гены, которые отвечают за адаптацию к гипоксии.

Вскоре был выделен белок и описан ген пролилгидроксилазы (Prolyl Hydroxylase, PHD), отвечающий за гидроксилирование HIF-1α [15, 16]. Определение роли PHD в качестве одного из компонентов сенсорного механизма кислорода дало возможность разработки специфических ингибиторов PHD для увеличения активности HIF-1 в клетках, например, для увеличения производства эритропоэтина у пациентов с анемией.

В 2001 г. Семенза с коллегами описал еще один кислород-зависимый механизм, определяющий на этот раз не деградацию белка HIF-1α, а его активность в качестве фактора транскрипции — фактор, ингибирующий HIF (Factor Inhibiting HIF, FIH) [17]. FIH тоже относится к кислород-зависимым гидроксилазам, но модифицирует аспарагиновые остатки в N-концевом активационном домене HIF-1α. Такое гидроксилирование препятствует взаимодействию HIF-1α с коактиваторами транскрипции.

Это открытие несомненно войдет в учебники. Это то, что ученики 12, 13 лет, а возможно и младше, будут изучать в курсе общей биологии. Это несомненно очень-очень захватывающе! — так отозвался в день присуждения премии коллега лауреатов, профессор Кембриджского университета и член Нобелевского комитета Рэндалл Джонсон.

Как видно из истории открытия механизма регуляции HIF, большинство исследований было проведено в 1990-х — начале 2000-х годов. Почему же Нобелевская премия за исследование механизма восприимчивости к снабжению клеток кислородом присуждена спустя почти 20 лет?

Открытый героями этой статьи механизм кислородного сенсора характерен практически для всех многоклеточных животных. Такая консервативность сделала HIF компонентом сразу нескольких регуляторных каскадов, вовлеченных как в фундаментальные физиологические, так и в иммунные и воспалительные процессы.

Целый ряд патологий связан с нарушениями снабжения тканей кислородом или ответом на это состояние. Такое одновременно фундаментальное и потенциально прикладное значение открытия стало очевидным именно в последнее десятилетие, и не в последнюю очередь связано с прорывом в разработке химических ингибиторов различных компонентов кислород-зависимой регуляции активности кислородного сенсора. Некоторые из этих ингибиторов в настоящее время уже проходят клинические испытания. Не вызывает сомнений, что в ближайшее время это приведет к мощному прорыву в медицинской практике. Это и заставило Нобелевский комитет сделать свой выбор в пользу Кэлина, Рэтклиффа и Семензы.

Самые большие надежды, несомненно, связаны с разработкой противоопухолевых препаратов. Безудержный рост раковых клеток приводит к дефициту кислорода, гипоксия стимулирует прорастание в опухоль новых кровеносных сосудов, изменяет метаболизм раковых клеток и их выживаемость. Давно известно, что опухоли с признаками гипоксии имеют очень плохой прогноз и плохо поддаются химиотерапии. С одной стороны, подавление ответа на гипоксию с использованием ингибиторов HIF может помочь остановить неконтролируемый рост опухоли. С другой стороны, активацию HIF в раковых клетках можно использовать для таргетной доставки цитотоксических препаратов, которые будут активироваться только в опухолях, что потенциально усилит их действие и снизит проявление побочных эффектов.

Ингибиторы пролилгидроксилаз, которые предотвращают деградацию HIF в условиях нормоксии (нормального снабжения кислородом), предположительно могут найти применение в лечении анемии и почечной недостаточности и быть альтернативой рекомбинантному эритропоэтину. Потенциальное применение также связано с воспалительными процессами, сердечно-сосудистыми заболеваниями, включая инсульт, инфаркт миокарда, гипертонию, и заболеваниями дыхательных путей.

Цель разработки лекарственных препаратов выходит далеко за пределы лечения собственно гипоксических состояний. Поскольку HIF регулирует ангиогенез (рост новых кровеносных сосудов) и способствует выработке фактора роста эндотелия сосудов (Vascular Endothelial Growth Factor, VEGF), эти исследования расширяют инструментарий к ряду патологий, связанных с нарушением кровообращения, таких как атеросклероз, ревматоидный артрит, эндометриоз и аденомиоз в гинекологии, поражение сетчатки глаза при возрастной макулодистрофии.

Таким образом, интенсивные разработки академических лабораторий и фармакологических компаний ведутся одновременно в двух направлениях: поиск ингибиторов разных компонентов механизма чувствительности к гипоксии и способов его активации в условиях нормального снабжения кислородом.

© **О.С.Сафронова**, PhD
Mendeleev — Tokyo International Science Labs
(Токио, Япония)

Литература / References

1. *Lin F.K., Suggs S., Lin C.H. et. al.* Cloning and expression of the human erythropoietin gene. PNAS. 1985; 82(22): 7580–7584. DOI:10.1073/pnas.82.22.7580.
2. *Semenza G.L, Nejfelt M.K., Chi S.M., Antonarakis S.E.* Hypoxia-inducible nuclear factors bind to an enhancer element located 3' to the human erythropoietin gene. PNAS. 1991; 88(13): 5680–5684. DOI:10.1073/pnas.88.13.5680.
3. *Semenza G.L., Koury S.T., Nejfelt M.K. et. al.* Cell-type-specific and hypoxia inducible expression of the human erythropoietin gene in transgenic mice. PNAS. 1991; 88(19): 8725–8729. DOI:10.1073/pnas.88.19.8725.
4. *Semenza G.L., Wang G.L.* A nuclear factor induced by hypoxia via de novo protein synthesis binds to the human erythropoietin gene enhancer at a site required for transcriptional activation. Mol. Cell Biol. 1992; 12(12): 5447–5454. DOI:10.1128/mcb.12.12.5447.
5. *Wang G.L., Semenza G.L.* Purification and characterization of hypoxia inducible factor 1. J. Biol. Chem. 1995; 270(3): 1230–1237. DOI:10.1074/jbc.270.3.1230.
6. *Wang G.L., Jiang B.-H., Rue E.A., Semenza G.L.* Hypoxia-inducible factor 1 is a basic-helix-loop-helix-PAS heterodimer regulated cellular O2 tension. PNAS. 1995; 92(12): 5510–5514. DOI:10.1073/pnas.92.12.5510.
7. *Maxwell P.H., Pugh C.W., Ratcliffe P.J.* Inducible operation of the erythropoietin 3' enhancer in multiple cell lines: evidence for a widespread oxygen-sensing mechanism. PNAS. 1993; 90: 2423–2427. DOI:10.1073/pnas.90.6.2423.
8. *Salceda S., Caro J.* Hypoxia-inducible factor 1alpha (HIF-1alpha) protein is rapidly degraded by the ubiquitin-proteasome system under normoxic conditions. Its stabilization by hypoxia depends on redox-induced changes. J. Biol. Chem. 1997; 272: 22642–22647. DOI:10.1074/jbc.272.36.22642.
9. *Huang L.E., Gu J., Schau M., Bunn H.F.* Regulation of hypoxia-inducible factor 1alpha is mediated by an O_2-dependent degradation domain via the ubiquitinproteasome pathway. PNAS. 1998; 95: 7987–7992. DOI:10.1073/pnas.95.14.7987.
10. *Iliopoulos O., Kibel A., Gray S. et al.* Tumour suppression by the human von Hippel-Lindau gene product. Nat. Med. 1995; 1: 822–826. DOI:10.1038/nm0895-822.
11. *Iliopoulos O., Levy A.P., Jiang C. et al.* Negative regulation of hypoxiainducible genes by the von Hippel-Lindau protein. PNAS. 1996; 93: 10595–10599. DOI:10.1073/pnas.93.20.10595.
12. *Maxwell P.H., Wiesener M.S., Chang G.-W. et al.* The tumour suppressor protein VHL targets hypoxia-inducible factors for oxygen-dependent proteolysis. Nature. 1999; 399: 271–275. DOI:10.1038/20459.
13. *Ivan M., Kondo K., Yang H. et al.* HIFa targeted for VHL-mediated destruction by proline hydroxylation: Implications for O_2 sensing. Science. 2001; 292: 464–468. DOI:10.1126/science.1059817.
14. *Jaakkola P., Mole D.R., Tian Y.-M. et al.* Targeting of HIF-б to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O_2-regulated prolyl hydroxylation. Science. 2001; 292: 468–472. DOI:10.1126/science.1059796.
15. *Bruick R.K., McKnight S.L.* A conserved family of prolyl-4-hydroxylases that modify HIF. Science. 2001; 294: 1337–1340. DOI:10.1126/science.1066373.
16. *Ivan M., Haberberger T., Gervasi D.C. et al.* Biochemical purification and pharmacological inhibition of a mammalian prolyl hydroxylase acting on hypoxia-inducible factor. PNAS. 2002; 99: 13459–13464. DOI: 10.1073/pnas.192342099.
17. *Mahon P.C., Hirota K., Semenza G.L.* FIH-1: a novel protein that interacts with HIF-1alpha and VHL to mediate repression of HIF-1 transcriptional activity. Genes Dev. 2001; 15: 2675–2686. DOI:10.1101/gad.924501.
18. *Safronova O.S.* Post-translational modifications of proteins in gene regulation under hypoxic conditions. Inflammation and Regeneration, 2013; 33(4): 203–216. DOI:10.2492/inflammregen.33.203.

2019 Nobel Prize Laureates In Physiology or Medicine: William G. Kaelin, Sir Peter J. Ratcliffe, and Gregg L. Semenza

O.S.Safronova
Mendeleev — Tokyo International Science Labs (Tokyo, Japan)

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2019 was "for the discoveries of how cells sense and adapt to oxygen availability." The prize is divided equally between the Americans William G. Kaelin and Gregg L. Semenza, as well as the British Sir Peter J. Ratcliffe. The statement of the Nobel Committee notes that the research sheds light on the mechanism of one of the most necessary adaptive processes for life, the adaptation of cells to constantly changing oxygen levels. Despite the fact that scientists conducted research independently of each other, in the aggregate, their work opens up great opportunities for the development of new promising ways to combat anemia, cancer and other diseases.

Keywords: Nobel Prize, hypoxia, oxygen, hypoxia inducible factor (HIF), erythropoietin, cancer, anemia.

Новости

Астрофизика

Невидимая черная дыра обнаружена методом Нобелевских лауреатов 2019 года

Сразу после объявления Нобелевских лауреатов этого года в журнале «Nature» вышла статья*, в которой было обнародовано открытие черной дыры методом Мишеля Майора и Дидье Кело. Группа китайских, австралийских и американских ученых обнаружила невидимую черную дыру, вокруг которой обращается довольно крупная звезда. Ее масса составляет 8.2 массы Солнца, а радиус — около 9 его радиусов. Двухлетние наблюдения вариаций радиальной скорости звезды с периодом обращения 78.9 сут позволили установить массу невидимого тела, вокруг которого обращалась звезда: она оказалась равной около 70 масс Солнца.

Такие массы звездной пары означают, что расстояние между ними не очень велико: оно составляет примерно 1.3–1.4 астрономических единицы (расстояний от Солнца до Земли). На первый взгляд кажется удивительным, что не удалось обнаружить рентгеновское излучение от звездного ветра, который должен был бы падать на черную дыру и попутно излучать фотоны высокой энергии. Однако астрономы, собравшиеся 6 декабря в Государственном астрономическом институте имени П.К.Штернберга на семинаре имени Я.Б.Зельдовича, пришли к выводу, что это вполне возможно.

Заметим, что открытие пары «звезда—черная дыра» должно приводить еще к одному эффекту. Черная дыра фокусирует излучение обычной звезды, посылая в окружающее пространство тонкие лучи, которые для наблюдателя, оказавшегося на прямой, соединяющей центры масс этой пары, будут выглядеть как очень короткие вспышки света со спектром звезды. Земным астрономам не повезло: плоскость, в которой расходится сфокусированное излучение, не проходит через нашу планету. Однако если эта пара не исключительна в Галактике, возникает шанс обнаружить гравитационную фокусировку (микролинзирование) другими черными дырами.

© доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**
Институт теоретической физики
имени Л.Д.Ландау (Москва)

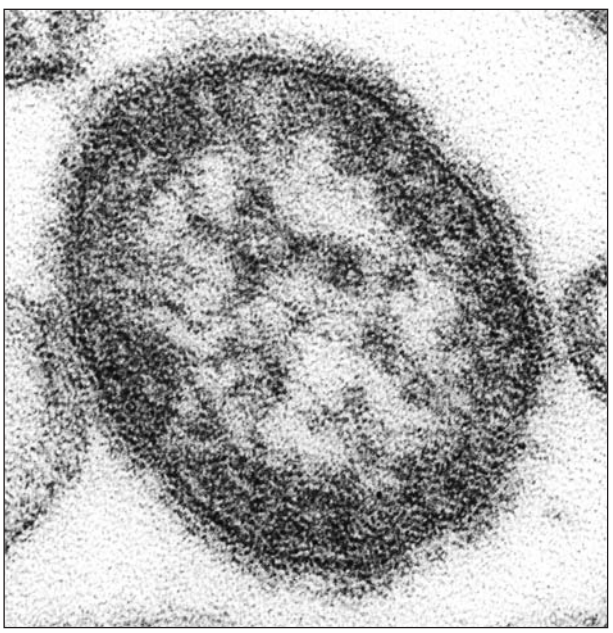
* *Liu J., Zhang H., Howard A.W. et al.* A wide star–black-hole binary system from radial-velocity measurements. Nature. 2019; 575: 618—621. DOI:10.1038/s41586-019-1766-2.

Иммунология

Корь ослабляет защиту от других инфекций

Вирус кори (*Measles morbillivirus*), как выражаются специалисты, лимфотропный вирус, который вызывает острое высоко контагиозное заболевание с длительным периодом иммуносупрессии после виремии. Это означает, что инфекция чрезвычайно заразна (распространяется воздушно-капельным путем и поражает чуть ли не в 100% случаев), ее возбудитель размножается в лимфатических узлах, поражает клетки иммунной системы, которая еще долгое время не может восстановиться после циркуляции вируса в крови.

Заразиться могут не только невакцинированные дети, но и взрослые, которые не болели корью в детстве или не были привиты. Однако смертельно опасна она именно для детей. Казалось бы, созданная более 50 лет назад безопасная и эффективная вакцина должна была обуздать распространение кори. Однако массовый отказ от иммунизации привел к тому, что в последние пару лет число зарегистрированных в мире случаев возросло на 30%. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2018 г. от кори умерло более 140 тыс. человек в мире, причем большинство случаев с летальным исходом приходится на детей



Электронная микрофотография вируса кори. Диаметр вириона — 100–200 нм.

младше пяти лет. Сейчас у всех на слуху массовая вспышка кори в небольшом островном государстве Самоа с населением всего 200 тыс. человек. Эпидемия началась в середине октября текущего года, а 4 декабря уже было зафиксировано более 4 тыс. случаев заболевания, из них 60 — с летальным исходом. Причиной сложившейся ситуации эксперты ВОЗ считают резкое снижение в стране уровня иммунизации против кори (в 2014 г. было вакцинировано 84% детей, а в 2018 г. — 30%), вызванного массовым отказом от прививок из-за гибели двух детей, которым по преступной халатности медсестер вакцина была введена с нарушением инструкции.

Надо сказать, что среди сторонников антипрививочного движения есть совсем безумные родители, которые специально заражают своих детей, считая, что риск осложнений от болезни меньше, чем от вакцинации. На самом деле все наоборот. К тому же, у кори, как оказалось, есть отдаленные негативные последствия. Еще в 2015 г. М.Мина с коллегами, проанализировав данные о смертности, собранные с начала массовой вакцинации в периоды вспышек кори, предположили, что эта болезнь может вызывать не временную, а длительную (в течение двух–трех лет) иммуносупрессию*. Иными словами, вирус кори может привести к иммунной амнезии (когда иммунная система переболевшего «забывает» о других перенесенных инфекциях и не защищает от них), из чего следует, что смертность от других патогенов увеличивается после вспышки кори.

Для проверки этой гипотезы иммунологи исследовали образцы крови детей, чьи родители из религиозных соображений отказывались от любых прививок**. Дело было в 2013 г. в Нидерландах во время эпидемии кори, и неудивительно, что 77 из 82 детей заболели. Пятеро уцелевших, а также здоровые привитые дети вошли в контрольную группу. Для обнаружения в образцах крови специфических антител к наиболее распространенным патогенам ученые разработали технологию VirScan. Кровь детей из экспериментальной группы до болезни содержала антитела ко многим распространенным патогенам, а после — теряла от 11 до 73% от репертуара антител. В контрольной группе их количество сохранялось на 90%. Исследователи предположили, что потеря антител происходит из-за снижения количества В-клеток иммунной системы.

Поиском причины снижения иммунного ответа занялась международная группа исследователей, которые обратились непосредственно к продуцирующим антитела В-клеткам — основной мишени вируса кори***. Ученые проанализировали образцы крови 26 детей из той же группы до и после болезни и выяснили, что инфекция снижает разнообразие не только клеток памяти, но и наивных В-клеток костного мозга, которые должны вступать в борьбу с еще незнакомыми организму патогенами. Таким образом, непривитые от кори дети не только будут заражены вирусом *M.morbillivirus* в 9 случаях из 10, но и станут более уязвимыми для новых возбудителей и для тех, с которыми уже встречались. Полученные результаты — еще одна веская причина для вакцинации детей, особенно в сложившейся эпидемиологической ситуации.

По материалам «Science»

Генетика. Эмбриология

Родились первые в мире химеры свиньи и обезьяны

В современном мире все чаще говорят о ксеногенном органогенезе — выращивании органов и тканей одного вида животных в теле другого — для последующего изъятия и трансплантации. Межвидовые химеры (организмы, состоящие из генетически разных клеток, которые не могли бы существовать в природе) наиболее успешно получают в основном для грызунов. Но для трансплантации человеку органы грызунов не подходят. В качестве потенциальных доноров органов рассматривают свиней, организм которых похож на человеческий. В 2017 г. была опубликована работа****, в которой показана возможность существования эмбрионов свиней с клетками человека. Однако доля человеческих клеток в организме свиньи была очень маленькой (1:100 000). Кроме того, при внедрении человеческих клеток в эмбрион на ранних стадиях эмбриогенеза предсказать, в каких конкретно органах они окажутся в дальнейшем, невозможно. Все полученные эмбрионы пришлось уничтожить из этических соображений.

В центральной лаборатории стволовых клеток и репродуктивной биологии Института зоологии

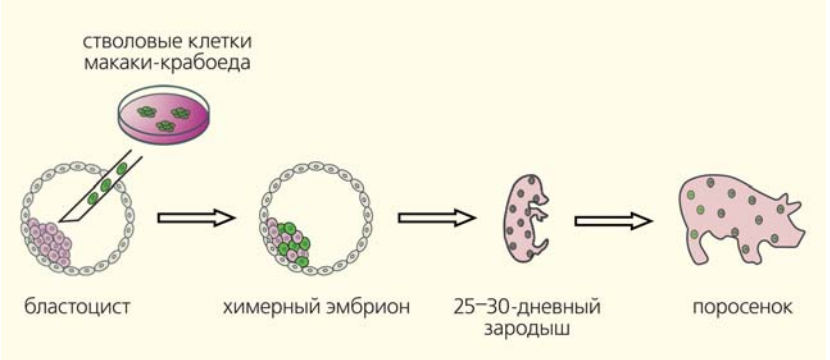
* *Mina M.J., Metcalf C.J.E., Swart R.L. de et al.* Long-term measles-induced immunomodulation increases overall childhood infectious disease mortality. Science. 2015; 348(6235): 694–699. DOI:10.1126/science.aaa3662.

** *Mina M.J., Kula T., Leng Y. et al.* Measles virus infection diminishes preexisting antibodies that offer protection from other pathogens. Science. 2019; 366(6465): 599–606. DOI:10.1126/science.aay6485.

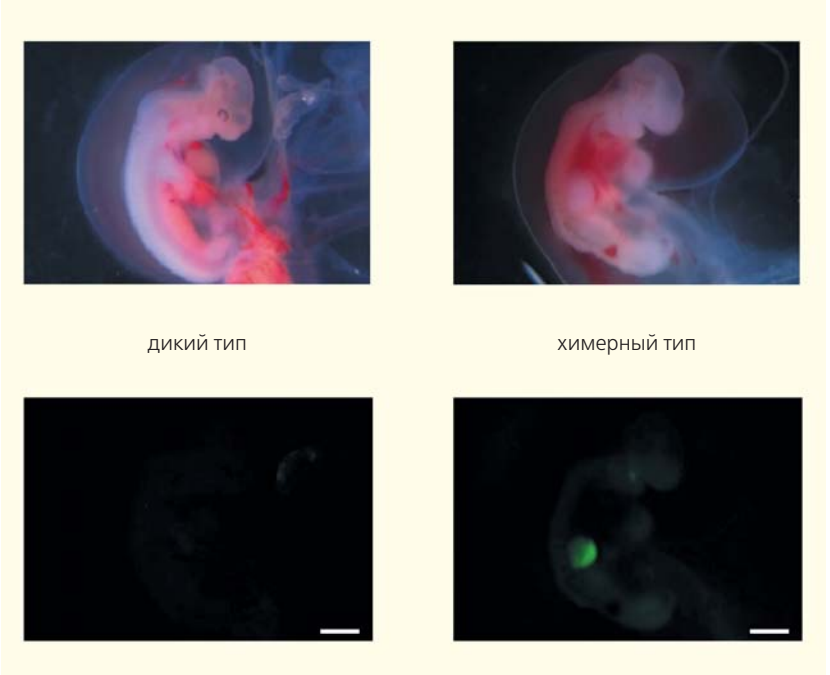
*** *Petrova V.N., Sawatsky B., Han A.X. et al.* Incomplete genetic reconstitution of B cell pools contributes to prolonged immunosuppression after measles. Science Immunol. 2019; 4(41): eaay6125. DOI:10.1126/sciimmunol.aay6125.

**** *Wu J., Platero-Luengo A., Sakurai M. et al.* Interspecies chimerism with mammalian pluripotent stem cells. Cell. 2017; 168: 473–486. DOI:10.1016/j.cell.2016.12.036.

Гибриды свиньи и макака.



Принципиальная схема эксперимента.



Эмбрионы свиньи: дикий и химерный типы. Флюоресценция белка GFP в клетках макака в эмбрионе свиньи. Масштаб — 2 мм.

Китайской академии наук создали химерных поросят с внедренными клетками макака-крабоеда (*Macaca fascicularis*) — довольно близкого для человека вида, часто используемого для медицинских манипуляций.

После длительных предварительных исследований и модификации среды для выращивания стволовых клеток ученые ввели полученные клетки макаков в бластоцисты свиней. (Стволовые клетки предварительно были модифицированы, чтобы в дальнейшем можно было отследить их по флюоресценции белка GFP). Из 4359 бластоцистов получили 59 эмбрионов, три из которых были химерными. Таким образом, ученые показали принципиальную возможность выращивания эмбрионов свиней с введенными клетками макаков. Для дальнейших исследований три беременности решено было довести до родов, однако беременность одной из свиноматок по неизвестным причинам прервалась. У двух других родилось 10 поросят, двое из которых оказались химерными. Однако все они умерли в течение одной недели после рождения.

Смертность поросят ученые связывают не с генетическими вмешательствами в организмы животных, а с плохо отлаженным для свиней процессом экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), ведь поросята из контрольной группы, без искусственных генетических изменений, также умерли.

Исследования органов химерных свиней показало, что клетки макака-крабоеда встречаются у них в разных органах, включая сердце, печень, селезенку, легкие и кожу, но не в органах репродуктивной системы. Кроме того, клетки не остались плюрипотентными: по крайней мере в печени и почках они дифференцировались в гепатоцисты и ренальные клетки соответственно. Однако доля клеток ма-

каков в организме свиней оказалась невысока — от 1:1000 до 1:10 000 клеток в зависимости от ткани (впрочем, это больше, чем в экспериментах с человеческими клетками).

Несмотря на то что до выращивания донорских органов пока еще очень далеко, получение химерных гибридов, несомненно, большой шаг в этом направлении.

Protein & Cell. 2019.
DOI: 10.1007/s13238-019-00676-8.

Зоология. Экология

Золотобрюхая бобровая крыса научилась поедать жаб-ага

Так сложилось, что эндемичные экосистемы Австралии, географически изолированные от остального мира, оказались подвержены существенным изменениям из-за большого количества инвазивных видов, завезенных человеком. В 30-х годах прошлого века для борьбы с вредителями плантаций сахарного тростника в Австралию завезли жабу-ага (*Rhinella marina*). К сожалению, жабы не стали бороться с вредителями, нашли себе другую добычу и довольно быстро распространились по континенту.

Как правило, живые организмы могут приспосабливаться к новым обстоятельствам, либо обучаясь существовать и взаимодействовать с ними, либо эволюционируя. Скорость и успех такого рода адаптаций оказывают существенное влияние на выживаемость и приспособляемость как конкретного индивидуума, так и всей популяции в целом. Но проникновение ага оказалось для многих местных животных неожиданным — к обычным проблемам с вытеснением и поеданием инвазивными видами аборигенных добавилась высокая токсичность вселенцев. Именно с ядовитостью этих жаб связывают падение численности северной сумчатой куницы, а также нескольких видов варанов и змей.

Среди хищников, представляющих опасность для ага, были отмечены некоторые птицы, например австралийский ворон, а также браминский и черный коршуны и коршун-свистун. Из млекопитающих спорадически и с переменным успехом на жаб охотятся грызуны разных видов. И вот в журнале «Australian Mammalogy» австралийские ученые опубликовали статью, показывающую, что в течение всего двух лет златобрюхая бобровая крыса *Hydromys chrysogaster*, известная также как ракали, научилась употреблять ядовитых жаб в пищу без вреда для своего здоровья. Впервые на территории исследований ага появились во влажный период 2011–2012 гг., а уже в 2014-м исследователи начали находить аккуратно вскрытые трупики жаб с извлеченными сердцем и печенью. Инфракрасные камеры, разнообразные ловушки и исследование останков жаб позволили с уверенностью сказать, что это сделали ракали. Крысы с удивительной точностью вскрывали грудную клетку жаб и поедали сердце и печень, отбрасывая при этом ядовитый желчный пузырь. И если в предыдущих исследованиях было показано, что грызуны поедали преимущественно мелких жаб, то здесь ракали питались в основном крупными особями, а у средних в дополнение к сердцу и печени обгрызали еще и задние ноги, оставляя ядовитую кожу.

Останки жабы-ага, вскрытой золотобрюхой бобровой крысой. Хорошо видны разрез грудной клетки и вынутый желчный пузырь. Сердце, печень, а также задняя нога жабы были съедены.

На территории обитания златобрюхих крыс жабы-ага появились относительно недавно, поэтому приспособление к безопасному их употреблению в пищу говорит не об эволюционном характере этого процесса, а об обучении ракали. А так как после окончания лактации детеныши ракали остаются в гнезде еще до четырех недель, есть надежда, что все будущие поколения также научатся обращаться с ядовитой и опасной жертвой.

Australian Mammalogy. 2019.
DOI: 10.1071/AM19016

Что нам не надо знать о пермском периоде

доктор геолого-минералогических наук С.В.Наугольных
Геологический институт РАН (Москва, Россия)
e-mail: naugolnykh@list.ru

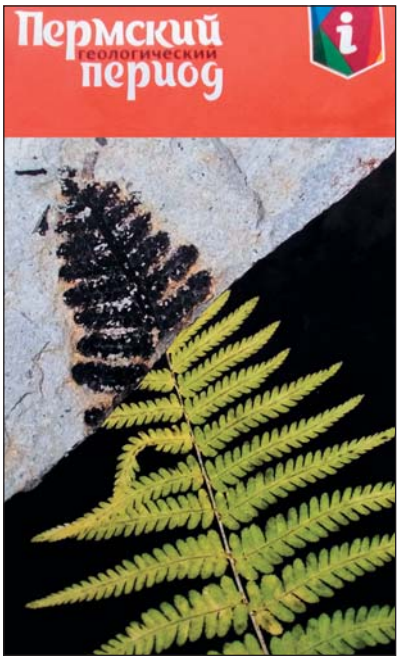
Представить широкой общественности картину научных достижений в популярном и общедоступном изложении — задача благородная, но непростая. Это касается и популяризации палеонтологии. Сейчас научно-популярных изданий по палеонтологии довольно много, но большинство из них, увы, трудно признать удачными и научно достоверными в полной мере.

Пермский туристский информационный центр* выпустил карту-буклет, подготовленную К.А.Добрянских (он указан как автор-составитель). Карта издана в рамках реализации подпрограммы «Развитие туризма» государственной программы «Экономическая политика и инновационное развитие».

Нет сомнений, что Пермский край и его ископаемые сокровища заслуживают самого пристального внимания любителей природы. Наибольший интерес вызывают отложения пермской системы, самое название которой обязывает пермяков (а значит, и руководство Пермского края и г.Перми) обратить особое внимание на развитие палеонтологической тематики в региональном культурном и научном пространстве. Именно в Пермском крае найдены строматолиты *Alebastrophyton sylvensis* уникальной сохранности (с фоссилизированными бактериальными пленками и несколькими морфотипами коккоидных бактериоморф)**, богатейшие комплексы окаменелостей морских беспозвоночных в Чикалинских мшанково-водорослевых рифах, ископаемые остатки насекомых и растений в знаменитом Чекардинском местонахождении, трехмерно сохранившиеся стволы древовидных плауновидных *Viatcheslavia vorcutensis* в обнажениях в приустьевой части р.Сылвы у Старых Лядов, а также всемирно известные скелеты лабиринтодонтов и диноцефалов из разреза Ежово у г.Очера.

Конечно, такие палеонтологические богатства обязывают отцов города и края каким-то образом представить их на туристических или культурных площадках Перми. Но как удалось реализовать эту, в общем-то, благую мысль в карте-буклете?

При первом взгляде издание вызывает вполне позитивное впечатление. На одной стороне большого листа, разворачивающегося до размера чуть меньше формата А1 (очевидно, для того чтобы карту можно было использовать в качестве настенного постера), представлена карта Пермского края, на которой отмечено расположение



К.А.Добрянских.
ПЕРМСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРИОД. ПЕРМЬ ВЕЛИКАЯ: ВПЕЧАТЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ КРАЙ.

Пермь: Астер, 2019. Карта-буклет.

* Пермский туристский информационный центр — организация, созданная по инициативе Министерства физической культуры, спорта и туризма Пермского края с целью развития и популяризации внутреннего и въездного туризма в регионе, как указано на сайте центра (visitperm.ru).

** *Наугольных С.В., Литвинова Т.В.* Строматолиты из пермских отложений Пермского Приуралья: новый форм-род *Alebastrophyton* Naug. et Litvinova, gen. nov. // Палеонтология в музейной практике. Москва, 2014. С.33–43.

© Наугольных С.В., 2019
DOI:10.7868/S0032874X19120093

наиболее интересных объектов, посвященных пермскому периоду. В качестве декоративных элементов использованы графические изображения различных животных и растений, живших в пермском периоде. Эти изображения — реконструкции облика вымерших организмов — очень эффектно расположены на карте, они примерно показывают, где в пределах Пермского края ископаемые остатки того или иного древнего существа пермского возраста были обнаружены. Выполнена карта, надо отметить, с большим художественным вкусом.

На оборотной стороне листа размещены сведения о тех вымерших животных и растениях, которые изображены на карте. Тексты сопровождаются теми же графическими изображениями, что использованы на карте. Внешне все выглядит очень аккуратно и вполне благопристойно, но внимательное знакомство с текстами, сопровождающими изображения, резко меняет впечатление.

Автор-составитель в выходных данных издания указал: *При подготовке использованы работы С.В.Наугольных, В.П.Ожгибесова, И.И.Терещенко*... И действительно, две трети текстов практически дословно заимствованы из набора открыток «Permian period»*. К научной достоверности заимствованных текстов претензий нет. Удивляет лишь отсутствие ссылок на первоисточник при прямом воспроизведении больших текстовых блоков. Конечно, каждый пишущий человек не застрахован от криптомнезии**, с которой можно встретиться и в произведениях выдающихся литераторов. Но здесь имеет место явно умышленное копирование и/или некорректное цитирование. В общем, этот недочет можно было бы и простить автору-составителю, списав на неопытность, если бы не оставшаяся треть текстов, написанная, очевидно, уже самим автором карты. Рассмотрим часть их подробнее.

Вот, например, изображение хорошо известного представителя хвойных пермского периода — вальхии (*Walchia*). В подписи к иллюстрации читатель вправе ожидать сведений о древних хвойных, но вместо этого почему-то его встречает пассаж о хвощах. Лишь затем следует информация о хвойных. Так что из текста складывается впечатление, что для автора-составителя хвощи и хвойные — это одна группа растений.

Читаем далее и с удивлением узнаем, что, оказывается, угли Кизеловского угольного бассейна относятся не к нижнему карбону (это общеизвестный факт!), а к пермской системе. На чем основан такой неожиданный вывод, остается загадкой.

В текстах, написанных самим автором-составителем, много стилистических огрехов. Чего, например, стоит такая фраза: *Начало комплектованию и палеонтологического собрания Кунгурского музея-заповедника было положено Г.Т.Мауэром — одним из самых ярких фигур в краеведческом движении Прикамья*.

В общем, от карты-буклета действительно «впечатления через край». Как и было обещано ее подзаголовком.

Честно говоря, я бы не стал тратить время на написание подобной рецензии, если бы не неприятный прецедент, который уже имел место с «палеонтологическими» публикациями Добрянских. В пермской газете «Трибуна»*** был опубликован материал о пермском периоде, подготовленный им же. В одном из пассажей речь шла о некоей «окаменелости» или «отпечатке». Было написано: *...этот камень называется волноприбойный знак*. На фото рядом действительно изображен образец песчаника с волноприбойными знаками, но это никак не окаменелость, а текстура осадочной горной породы. Далее приведено очень странное суждение: *...рядом с водой все сохраняется гораздо лучше*. Тут и там мелькает слово «артефакт»****, совершенно неуместное в данном контексте. Дополняет коллекцию нонсенсов утверждение, что кристаллы кальцита с небольшой натяжкой можно назвать янтарем пермского периода. В редакционном комментарии (слева от статьи) весьма симптоматично указано: *Директор музея Константин Добрянских с иронией замечает, что испытывает серьезную конкуренцию со стороны шоу-бизнеса*.

Я лично знаком с автором этих произведений и после статьи в «Трибуне» в очень доброжелательной и корректной форме искренне посоветовал ему перед публикацией научно-популярных

* Permian period. Пермский период: местонахождения, флора и фауна. Набор открыток / Автор текстов С.В.Наугольных. Пермь: Арт-Дизайн, 2013. 15 открыток.

** Криптомнезия (от гр. κρνπτοζ — скрытый, μνημη — память) — искажения памяти, выражающиеся в ослаблении различия (вплоть до полного его исчезновения) между действительно происходившими событиями или увиденными во сне, прочитанными, услышанными. Человек не может вспомнить, когда было то или иное событие, во сне или наяву, написал ли он стихотворение или просто запомнил когда-то прочитанное, был ли он на концерте известного музыканта или только слышал разговор об этом. Иными словами, забывается источник той или иной информации. Чужие идеи и чужое творчество, когда-то воспринятые человеком, через некоторое время осознаются им как свои.

*** *Добрянских К.А.* Жизнь до пермского вымирания // Трибуна. 20 апреля 2015 г. №15(130). С.14.

**** Артефакт — любой искусственно созданный объект, продукт человеческой деятельности. В лабораторных исследованиях артефактами называют эффекты, вызванные случайным или преднамеренным влиянием экспериментатора на ход эксперимента.

текстов все-таки советоваться со специалистами во избежание подобных несуразностей. Клятвенные заверения были получены. Но новый перл, увы, не заставил себя долго ждать.

А ведь не попасть в столь неудобную ситуацию совсем не сложно. Достаточно обратиться, например, на геологический факультет Пермского государственного университета к любому геологу широкого профиля, чтобы тот проверил и отредактировал подготовленную рукопись. Что этому помешало? Излишняя самонадеянность? Не берусь судить.

В заключение хочу выразить надежду на то, что новые публикации Добрянских о пермском периоде, а тем более те, которые выйдут при поддержке правительства Пермского края, будут тщательно вычитаны, отредактированы квалифицированными специалистами — геологами и палеонтологами и в результате оставят о себе не столь удручающее впечатление. ■

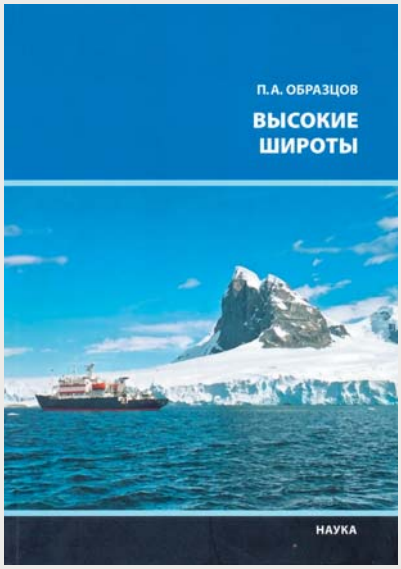
История науки. Медицина

И.В.Опимах. МЕДИЦИНА КАК ИСКУССТВО. М.: Наука, 2018. 175 с. (Сер.: Научно-популярная литература).

В истории медицины были открытия, определившие ее развитие. Без них она бы не стала той современной системой здоровья, что способна творить чудеса, вылечивать тяжелейшие болезни и продлевать жизнь. Герои книги — выдающиеся ученые, отдавшие свою жизнь служению науке. Это не только врачи, но и физики, химики, биологи, фармакологи. Они разрабатывали новые методы лечения, изобретали новые лекарства, создавали новые инструменты исследования. Среди них: У.Гарвей, открывший систему кровообращения; Э.Дженнер, который разработал вакцинацию и спас людей от оспы; И.Ф.Земмельвейс и Дж.Листер, первыми применившие антисептики для спасения людей; врачи, использовавшие разные вещества для наркоза для того, чтобы лечить без боли; Г.Мендель — отец генетики; А.Айхенгрюн, под чьим руководством был синтезирован аспирин; Ф.Г.Бантинг, Д.Дж.Р.Маклеод, Ч.Г.Бест и Дж.Коллип, открывшие инсулин; П.Эрлих, создавший целое направление в медицине — химиотерапию; А.Флеминг, с которого началась эра антибиотиков; В.Рентген, открывший излучение, которое ныне носит его имя; Г.Рихтер — фармаколог и бизнесмен, создавший крупную интернациональную фирму; Р.Франклин, внесшая огромный вклад в понимание структуры ДНК; К.Н.Барнард, первым осуществивший пересадку сердца человека; Ф.Габер, его трудами люди получили не только удобрения и лекарства, но и отравляющие газы и взрывчатые вещества.

География. История науки

П.А.Образцов. ВЫСОКИЕ ШИРОТЫ. М.: Наука, 2018. 192 с. (Сер.: Научно-популярная литература).



Человек испокон веков стремился узнать, что там — на Крайнем Севере и Крайнем Юге. Трудности продвижения на север привели к появлению мифов об удивительной стране, лежащей во мраке ночи. Лишь 100 лет назад удалось выяснить, что никакой земли вокруг географического Северного полюса нет, а до этого в течение двух веков на поиски предполагаемой земли отправлялись тысячи энтузиастов. Их влекла не только слава первооткрывателей и жажда познания, но и таинственный, необъяснимый зов Севера. На Крайнем Севере и на Крайнем Юге очень холодно, все покрыто снегом и льдом — трудно представить себе более неблагоприятные условия. Но сейчас Арктика и Антарктика стали районами соперничества крупнейших держав. На организацию полярных экспедиций и станций тратятся огромные деньги, в ряде стран создаются специальные подразделения вооруженных сил. Первая часть книги («Арктика. Территория мечты») посвящена истории освоения Севера, поисков Северо-Восточного прохода, открытия островов в Северном Ледовитом океане и Северного полюса. Во второй части («Антарктида. Минус 90 градусов на 90-й широте») рассказывается об открытии Антарктиды и Южного полюса, о полярных станциях, об озере Восток, об озоновой дыре над Антарктикой, о туристах и о жизни на самом южном континенте. В книге уделено внимание отважным героям, благодаря которым человечество узнало о мире высоких широт.

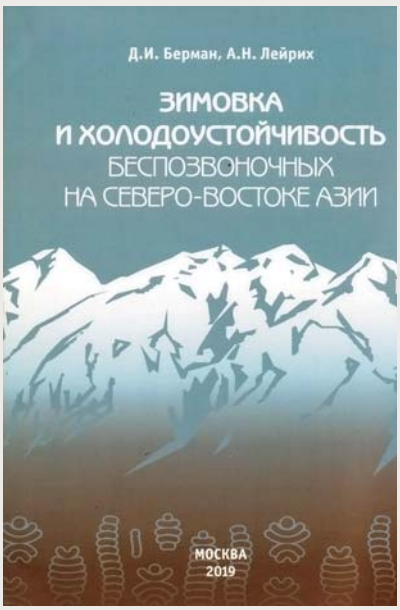
Физиология. Медицина

Д.А.Жуков. СТРЕСС, КОТОРЫЙ ВСЕГДА С ТОБОЙ. М.: Наука, 2018. 247 с. (Сер.: Научно-популярная литература).

Жизнь людей сопровождается самыми разными стрессами, обусловленными различными причинами: тут и новая работа, и несчастная любовь, и смерть близких, и переезд в другой город, и еще множество других ситуаций. Поэтому каждому полезно знать, что такое стресс и как он влияет на наше здоровье, душевное и физическое. При этом необходимо помнить, что стресс — это не всегда плохо, как уверяют многие. У него бывают и положительные стороны: он способен сделать нас не только сильнее, но и мудрее — нужно только научиться с ним жить. В книге описаны простые способы борьбы с плохим настроением. Наши реакции во многом носят врожденный характер, поэтому главное, чтобы первичная реакция при стрессе не вела к необратимым последствиям. Человек разумный, преодолев первое потрясение, способен подумать: а есть ли основания для того, чтобы испытывать стресс, и удовлетворению каких именно потребностей препятствует сложившаяся ситуация? Работа интересна биологическим подходом к явлениям нашей повседневной жизни. Стресс рассматривается автором не как психологическая травма, вызванная тем или иным событием; в центре его внимания физиологические процессы, происходящие в организме при встрече с чем-то незнакомым, пугающим или тревожным. Книга создана на основе научно-популярных статей автора, опубликованных большей частью в журнале «Химия и жизнь» в 2014–2018 гг.

ЗООЛОГИЯ

Берман Д.И., Лейрих А.Н. ЗИМОВКА И ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. 314 с.



По мере удаления от ландшафтов с широколиственными лесами Западной Европы к регионам с вечной мерзлотой на северо-востоке Азии разнообразие фауны беспозвоночных животных кратно сокращается. Конечно, она не то чтобы богата, но и не антарктически бедна. В мерзлотной области известен лишь один вид дождевых червей (в Европе их более 60), один — двупарноногих многоножек (в бассейне Яны), один — сенокосцев, но муравьев насчитывается почти 20, а жуков-щелкунов — 45 видов. Как же умудряются северные популяции беспозвоночных не только жить, но и, судя по численности, благоденствовать в этом жутко холодном регионе Субарктики на вечной мерзлоте с весьма умеренным снежным покровом? Об этом труд двух докторов биологических наук — Д.И.Бермана и А.Н.Лейрих. В книге описана подснежная жизнь 65 массовых видов: жуков-щелкунов, саранчовых, червецов, муравьев, многоножек, наземных моллюсков, дождевых червей, бокоплавов. Рассмотрены температурные условия зимовки разных видов, определены их зимующие стадии и холодоустойчивость, популяционные и индивидуальные пределы ее проявления, охарактеризованы химические механизмы холодозащиты. Основные итоги проведенного исследования авторы кратко формулируют следующим образом. Холодоустойчивость обитающих в почве беспозвоночных в среднем варьирует в пределах −30...−25 °С. Она соизмерима со средним уровнем минимальных температур в местах зимовки, который значительно выше и температур воздуха, и среднего уровня холодоустойчивости насекомых, зимующих над снежным покровом. Наиболее резистентные к холоду виды из разных таксономических групп используют все три известных механизма: устойчивость к замерзанию, способность зимовать в переохлажденном состоянии, защитную дегидратацию (т.е. потерю десятков процентов воды). Химическое обеспечение холодоустойчивости разнообразно и в некоторых пределах не зависит ни от таксономического положения вида, ни от механизма холодоустойчивости: одни и те же вещества могут способствовать и переохлаждению, и устойчивости к замерзанию, и защитной дегидратации, выполняя разные функции. Наиболее холодоустойчивые переохлаждающиеся насекомые, как широко известно, накапливают к зиме многоатомные спирты, играющие роль антифризов. Для выдерживающих замерзание дождевых червей также характерны олиолы и сахара, но они служат криопротекторами, защищающими ткани от повреждения. У ряда беспозвоночных как в замерзшем, так и в переохлажденном состоянии не обнаружено низкомолекулярных холодозащитных веществ.

Помимо академического интереса, книга ценна как основа для прогноза изменения северных границ ареалов обитающих в почве животных в нынешнем меняющемся климате.

Тематический указатель за 2019 год

МЕХАНИКА

Механика жидкости, газа и плазмы

Кимберлитовые трубки и флюидный вулканизм. **Чудов С.В.** **3** 66

Развитая кавитация гребных винтов. **Каневский Г.И., Клубничкин А.М., Сазонов К.Е.** **11** **32**

АСТРОНОМИЯ

Астрофизика и звездная астрономия

Вечное молчание Вселенной? **Ефремов Ю.Н.** **7** 3

Как заполнялась таблица Менделеева. **Вибе Д.З.** **4** 3

Лауреаты Нобелевской премии 2019 года по физике — Джеймс Пиблс, Мишель Майор и Дидье Кело. **Бялко А.В.** **12** 52

Невидимая черная дыра обнаружена методом Нобелевских лауреатов 2019 года*. **Бялко А.В.** **12** 62

Первая фотография черной дыры* **4** 93

Планетные исследования

Малая планета Халат. **Крячко Т.В.** **9** 35

Удивительные астероиды Рюгу и Бенну: гипотезы происхождения*. **Бялко А.В.** **9** 72

ФИЗИКА

Теоретическая физика

Л.Д.Ландау и А.И.Китайгородский как просветители и популяризаторы науки. **Щербаков Р.Н.** **10** 62

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Лизе Мейтнер — «мадам Кюри» немецкой науки. **Щербаков Р.Н.** ***5*** 77

Акустика

Кто свистит подо льдом? **Агафонов А.В., Чернецкий А.Д.** ***5*** 35

ХИМИЯ

Неорганическая химия

Железомарганцевые отложения в океане: от наночастиц до макрообъектов. **Новиков Г.В.** **11** 39

Аналитическая химия

Мироточащие иконы: что говорит наука? **Томин Н.В., Бутов И.С., Алексинский В.С., Московский А.В., Флоренский П.В., Дебелый М.А.** **10** 9

Нефтехимия

Идеи Д.И.Менделеева и происхождение нефти. **Родкин М.В., Пунанова С.А.** **10** 35

Радиохимия

След Чернобыля в агроландшафтах Черноземья: независимая оценка 30 лет спустя. **Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.** **7** 40

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Молекулярная биология

Змеиное масло» нейтрофилов, или Как осечка помешала открытию. **Линге И.А.** **4** 23

Короткие тандемные повторы. **Орлов М.А.** **12** 25

Оптогенетические инструменты будущего, или Как управлять мозгом с помощью света. **Шевченко В.А.** ***5*** 3

Шаг к пониманию молекулярных основ психических расстройств* **9** 73

Физиология и биохимия растений

Новое о нитрате: сигналинг у растений в действии. **Никитин А.В., Измайлов С.Ф.** **10** 43

Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)

Карманная лаборатория для новых лекарств. **Розенфельд А.В.** **10** 3

Молекулярная генетика

Волосатики и степени свободы в эволюции белков. **Панчин А.Ю.** **8** 68

Математическая биология, биоинформатика

CIS-белок — новая мишень в иммунотерапии рака, или Следствие ведут биоинформатики. **Пац К.М., Порозов Ю.Б.** **2** 49

Волосатики и степени свободы в эволюции белков. **Панчин А.Ю.** **8** 68

Знаком * отмечены материалы, опубликованные в разделе «Новости науки».

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Микробиология

Давайте целоваться, это не только приятно. **Суворов А.Н.** **4** 54
Микробиом ходов короедов: новые метагеномные данные. **Кузнецова Т.А., Вечерский М.В., Степаньков А.А.** **2** 55

Зоология

Бентосные сифонофоры подводного вулкана Пийпа. **Виноградов Г.М., Галкин С.В.** ***5*** 10
Граница на заморе, или Что не пускает травяную лягушку из Европы в Азию. **Берман Д.И., Булахова Н.А.** **7** 12
Забота о потомстве и кормление молоком... у пауков* **4** 94
Золотистая ржанка на Вишерском Урале. **Колбин В.А.** **10** 56
Золотобрюхая бобровая крыса научилась поедать жаб-ага* **12** 65
Исследования черноморских дельфинов продолжаются. **Агафонов А.В., Панова Е.М., Логоминова И.В.** **3** 84
Кто свистит подо льдом? **Агафонов А.В., Чернецкий А.Д.** ***5*** 35
Труд делает воронов счастливыми* **9** 74
Узнай меня, если сможешь: возможности идентификации моржей. **Крюкова Н.В.** **8** 20

Энтомология

Микробиом ходов короедов: новые метагеномные данные. **Кузнецова Т.А., Вечерский М.В., Степаньков А.А.** **2** 55
Стрекозы — мост между водными и наземными экосистемами. К 70-летию со дня рождения А.Ю.Харитонова. **Попова О.Н.** **8** 30

Ихтиология

Вольный лосось: трудности прогнозирования уловов тихоокеанских лососей. **Гордеев И.И., Кловач Н.В.** **3** 22

Генетика

Вековая история первой в России кафедры генетики. **Инге-Вечтомов С.Г.** **11** 3
Мутация, позволяющая спать меньше* **10** 76
Родились первые в мире химеры свиньи и обезьяны* **12** 63

Экология

Граница на заморе, или Что не пускает лягушку из Европы в Азию. **Берман Д.И., Булахова Н.А.** **7** 12
Золотобрюхая бобровая крыса научилась поедать жаб-ага* **12** 65
След Чернобыля в агроландшафтах Черноземья: независимая оценка 30 лет спустя. **Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.** **7** 40
Стрекозы — мост между водными и наземными экосистемами. К 70-летию со дня рождения А.Ю.Харитонова. **Попова О.Н.** **8** 30
Фитоценозы Азовского моря и климатические изменения. **Ильичев В.Г., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В.** **8** 54

Биогеохимия

Далеко летит: миграция и аккумуляция свинца. **Слуковский З.И.** ***5*** 29
Опасные связи, или Что нужно знать об экологии северных озер. **Слуковский З.И.** **12** 8
Ультраструктуры в ископаемых углях. **Кизильштейн Л.Я.** ***5*** 67

Микология

Грибы стали старше?* **Кузнецова Т.А.** **6** 85

Почвоведение

След Чернобыля в агроландшафтах Черноземья: независимая оценка 30 лет спустя. **Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.** **7** 40

ФИЗИОЛОГИЯ

Физиология

Лауреаты Нобелевской премии 2019 года по физиологии или медицине — Уильям Кэлин, сэр Питер Рэтклифф, Грегг Семенза. **Сафронова О.С.** **12** 56
Мутация, позволяющая спать меньше* **10** 76

Антропология

Новый метод для определения пола древних людей*. **Сударикова Е.В.** **6** 89

Иммунология

CIS-белок — новая мишень в иммунотерапии рака, или Следствие ведут биоинформатики. **Пац К.М., Порозов Ю.Б.** **2** 49
Змеиное масло» нейтрофилов, или Как осечка помешала открытию. **Линге И.А.** **4** 23
Корь ослабляет защиту от других инфекций* **12** 62

Биология развития, эмбриология

Родились первые в мире химеры свиньи и обезьяны* **12** 63

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Фитоценозы Азовского моря и климатические изменения. **Ильичев В.Г., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В.** **8** 54

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Металлургия черных, цветных и редких металлов

Металлы будут нужны всегда! **Солнцев К.А., Банных О.А., Цветков Ю.В., Иевлев В.М.** **12** 3

ИСТОРИЯ И АРХЕОЛОГИЯ

Археология

100 лет российской академической археологии. **Макаров Н.А.** **1** 3

Актуальные вопросы археологии Камчатки. **Кренке Н.А.** **1** 24

Амулет древних морских зверобоев с побережья Охотского моря. **Лебединцев А.И.** **8** 74

Аристократия кочевников Южного Приуралья: Филипповские курганы. **Сиротин С.В., Маслов В.Е., Богачук Д.С.** **1** 50

Изотопные маркеры образа жизни древних людей. **Добровольская М.В., Решетова И.К.** **1** 34

Краткая история «параллельных человечеств». **Медникова М.Б.** **1** 15

Культуры *Homo* в оценках мироздания и архетипы ментальности. **Черных Е.Н.** ***5*** 44
6 71
7 62

Ландшафтная археология Кисловодской котловины. **Коробов Д.С.** **1** 68

На старой дороге: работы 2015 года в Зарядье. **Беляев Л.А.** **3** 58

Новый древний Ярославль. **Энговатова А.В.** **1** 88

Памятники полярного мореплавания: Шпицберген и Новая Земля. **Державин В.Л.** **4** 46

Подводные археологические исследования в Фанагории. **Кузнецов В.Д., Ольховский С.В., Завойкин А.А.** **1** 57

Стоянка Мухкай IIа: экстраординарные находки эпохи олдована. **Амирханов Х.А., Ожерельев Д.В., Успенская О.И.** **1** 5

Теория оптимального кризиса: экология и адаптация. **Мимоход Р.А.** **1** 43

У колыбели Северо-Восточной Руси. **Макаров Н.А.** **1** 78

История науки и техники

Александр фон Гумбольдт. К 250-летию со дня рождения и 190-летию путешествия по России. **Чичагов В.П.** **12** 41

Биостратиграфия как предчувствие. К 250-летию со дня рождения Вильяма Смита. **Комаров В.Н., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У.** **4** 67

Более полувека с «Природой». **Родкин М.В.** **2** 87

Вековая история первой в России кафедры генетики. **Инге-Вечтомов С.Г.** **11** 3

Возвращение имени: зоолог Борис Сукачёв. **Гончаренко Н.В.** **6** 79

Даниил Гранин и наука: открытие А.А.Любищева и Н.В.Тимофеева-Ресовского. К 100-летию Д.А.Гранина. **Голубовский М.Д.** **2** 77

ЖОРЕС МЕДВЕДЕВ И ЕГО «ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОЛЕТИЯ»

Драма в истории биологии. **Голубовский М.Д.** **4** 72

Проблемы долголетия. **Медведев Ж.А.** **4** 80

Из поколения победителей. **Чернышев А.К.** **9** 20

К 150-летию романа Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой». **Смолицкий С.В.** ***5*** 57

Л.Д.Ландау и А.И.Китайгородский как просветители и популяризаторы науки. **Щербаков Р.Н.** **10** 62

Лизе Мейтнер — «мадам Кюри» немецкой науки. **Щербаков Р.Н.** ***5*** 77

Мария Васильевна Кленова: наука и жизнь. **Бараш М.С.** **7** 80

Открытие периодического закона: три загадки и одна легенда. **Дмитриев И.С.** **2** 34

Роль случая в развитии международных контактов. **Халатников И.М.** **9** 70

СОТРУДНИКИ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ Л.Д.ЛАНДАУ — ОБ И.М.ХАЛАТНИКОВЕ

Работая и путешествуя с И.М. **Покровский В.Л.** **9** 38

И.М.Халатников в моей жизни. **Синай Я.Г.** **9** 44

Учитель и директор. **Бялко А.В.** **9** 45

Осколки памяти. Из слов и дел И.М.Халатникова. **Минеев В.П.** **9** 54

Уроки Халата. **Фейгельман М.В.** **9** 58

Просвещенный монарх. **Николаев Н.Н.** **9** 60

В орбите Халата. **Бялко А.А.** **9** 64

Филлофорное поле Зернова: к 110-летию уникального открытия в Черном море. **Степаньян О.В.** **6** 62

Эра романтики глубоководных погружений. К 40-летию лаборатории научной эксплуатации глубоководных обитаемых аппаратов. **Сагалевич А.М.** **6** 3

«Я вам сейчас расскажу...». Интервью с **Халатниковым И.М.**, проведенное 17 марта 1993 года **Г.Е.Гореликом** **9** 5

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Геронтология и гериатрия

ЖОРЕС МЕДВЕДЕВ
И ЕГО «ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОЛЕТИЯ»
Драма в истории биологии.
Голубовский М.Д. **4** 72
Проблемы долголетия. **Медведев Ж.А.** **4** 80

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Эпидемиология

Клещевые инфекции* **10** 73

ИСКУССТВОВЕДЕНИЕ

Изобразительное и декоративно-прикладное искусство и архитектура

Истоки, развитие и расцвет флорентийской мозаики в Западной Европе. **Прыгов В.И., Беляков А.Ю.** **12** 32

ПСИХОЛОГИЯ

Психофизиология

Труд делает воронов счастливыми* **9** 74

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Общая и региональная геология

Ультраструктуры в ископаемых углях.
Кизильштейн Л.Я. ***5*** 67

Палеонтология и стратиграфия

Амбоптерикс — новый динозавр с перепончатыми крыльями*. **Лопатин А.В.** **9** 77
Биостратиграфия как предчувствие. К 250-летию со дня рождения Вильяма Смита.
Комаров В.Н., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У. **4** 67
Грибы стали старше?* **Кузнецова Т.А.** **6** 85
Затерянный мир Тавриды: древнейшая ископаемая пещерная фауна в Крыму.
Лопатин А.В. **6** 53
Ископаемые эндемики из асфальтового озера на Кубе. **Лопатин А.В., Зеленков Н.В.** **4** 29
Морские рептилии мезозоя как индикаторы климата?* **Архангельский М.С., Зверьков Н.Г.** **9** 76
О миграциях морских мезозойских рептилий*.
Зверьков Н.Г., Архангельский М.С. **10** 75
Первые собаки: когда и где? **Сергин В.Я.** **11** 14
Расцвет и закат гетероспоровых плауновидных.
Наугольных С.В. **7** 72
Титанозавры России. **Аверьянов А.О.** **10** 26
Тщательное пережевывание пищи как фактор эволюции млекопитающих*. **Лопатин А.В.** **6** 86
Янтарный край: страницы ископаемой летописи. **Мычко Э.В.** **3** 47

Геотектоника и геодинамика

«Горящая гора» Янгантау в Республике Башкортостан. **Фархутдинов А.М., Фархутдинов И.М., Исмагилов Р.А.** **7** 52

Петрология, вулканология

Вулканы-скульпторы. **Быкасов В.Е.** ***5*** 69

Минералогия, кристаллография

Истоки, развитие и расцвет флорентийской мозаики в Западной Европе. **Прыгов В.И., Беляков А.Ю.** **12** 32
Маггемит, рожденный в огне Попигайской астроблемы. **Портнов А.М.** **4** 40
Страна Тетраэдрия. Минералогическая сказка.
Расцветаева Р.К. **4** 58
Что в имени твоем? Химические элементы, открытые благодаря минералам.
Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. **3** 14
Эвдиалиту — 200 лет: история открытия и изучения. **Расцветаева Р.К., Аксенов С.М.** **11** 73

Гидрогеология

«Горящая гора» Янгантау в Республике Башкортостан. **Фархутдинов А.М., Фархутдинов И.М., Исмагилов Р.А.** **7** 52

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Покровная толща карстовых массивов: изучение в целях карстологического прогноза.
Дробинина Е.В., Катаев В.Н. **11** 62
Формирование оползней-потоков на отвалах угледобывающих предприятий. **Верховов К.В., Рыбальченко С.В.** **2** 70

Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Более полувека с «Природой». **Родкин М.В.** **2** 87
Гамма-излучатель ^{137}Cs — экспрессный индикатор экологических катастроф.
Портнов А.М. **12** 18
Железомарганцевые отложения в океане: от наночастиц до макрообъектов.
Новиков Г.В. **11** 39
Идеи Д.И.Менделеева и происхождение нефти.
Родкин М.В., Пунанова С.А. **10** 35
Маггемит, рожденный в огне Попигайской астроблемы. **Портнов А.М.** **4** 40
Метан в Черном море. **Леин А.Ю.** **2** 44
Мироточащие иконы: что говорит наука?
Томин Н.В., Бутов И.С., Алексинский В.С., Московский А.В., Флоренский П.В., Дебелый М.А. **10** 9
Оледенения в истории Земли, биосфера и низкая светимость Солнца.
Галимов Э.М. **6** 44

Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Исчерпание химических элементов в земной коре: обоснована ли тревога? **Мирлин Е.Г., Оганесян Л.В.** **8** 13

Ярегский титановый феномен. **Колокольцев В.Г.** **7** 27

Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов

Александр фон Гумбольдт. К 250-летию со дня рождения и 190-летию путешествия по России. **Чичагов В.П.** **12** 41

От субтропиков до тайги и тундростепей: путешествие по горам Циньлин и восточной окраине Тибета. **Махров А.А., Артамонова В.С., Бобров В.В., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Павлова С.В., Шефтель Б.И.** **3** 70

Филлофорное поле Зернова: к 110-летию уникального открытия в Черном море. **Степаньян О.В.** **6** 62

Черноморская кефаль. Как возродить былую славу? **Фащук Д.Я.** **11** 20

Геоморфология и эволюционная география

Влияние зон разрывных нарушений на строение и развитие коренных берегов залива Петра Великого. **Гаврилов А.А.** ***5*** 16

Куда увозят снег? **Лобкина В.А., Музыченко А.А.** **3** 39

Оползень и цунами на реке Бурее 11 декабря 2018 года. **Махинов А.Н.** **4** 12

Приморская Португалия. Эколого-географические изменения ландшафтов. **Лукашов А.А., Смоктунович Т.Л.** **11** 50

Псевдокарст на Лёссовом плато: аномальные проявления. **Лукашов А.А.** **2** 60

Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Ледяной покров Амура. **Махинов А.Н.** **3** 28

Оползень и цунами на реке Бурее 11 декабря 2018 года. **Махинов А.Н.** **4** 12

Океанология

Видим дно! **Галкин С.В., Виноградов Г.М.** **6** 16

Вольный лосось: трудности прогнозирования уловов тихоокеанских лососей. **Гордеев И.И., Кловач Н.В.** **3** 22

Глубоководные склерактиниевые кораллы — обитатели гайотов. **Келлер Н.Б., Зарайская Ю.А.** **8** 63

Мария Васильевна Кленова: наука и жизнь. **Бараш М.С.** **7** 80

ОТКРЫТЫ САМЫЕ СЕВЕРНЫЕ МЕТАНОВЫЕ ПОЛЯ ПАЦИФИКИ

Новый регион восстановительных сообществ Мирового океана. **Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.** **6** 24

Живые индикаторы метановых выходов и гидротерм. **Крылова Е.М., Колпаков Е.В.** **6** 30

Источники метана на Корякском склоне Берингова моря. **Полоник Н.С.** **6** 36

Черноморская кефаль: как возродить былую славу? **Фащук Д.Я.** **11** 20

Метеорология, климатология, агрометеорология

Оледенения в истории Земли, биосфера и низкая светимость Солнца. **Галимов Э.М.** **6** 44

Гляциология и криология Земли

Вечная мерзлота Туостахской впадины. **Мурзин Ю.А.** **10** 19

Опасные «нелавиноопасные» склоны. **Боброва Д.А., Казакова Е.Н., Казаков Н.А.** **8** 44

Геоэкология

Гамма-излучатель ^{137}Cs — экспрессный индикатор экологических катастроф. **Портнов А.М.** **12** 18

Далеко летит: миграция и аккумуляция свинца. **Слуковский З.И.** ***5*** 29

Куда увозят снег? **Лобкина В.А., Музыченко А.А.** **3** 39

Опасные связи, или Что нужно знать об экологии северных озер. **Слуковский З.И.** **12** 8

Приморская Португалия. Эколого-географические изменения ландшафтов. **Лукашов А.А., Смоктунович Т.Л.** **11** 50

Формирование оползней-потоков на отвалах угледобывающих предприятий. **Верховов К.В., Рыбальченко С.В.** **2** 70

Эльтонско-Баскунчакский регион — кандидат в список всемирного наследия ЮНЕСКО. **Брылёв В.А., Князев Ю.П., Моников С.Н.** **10** 49

АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ

Давайте целоваться, это не только приятно. **Суворов А.Н.** **4** 54

Страна Тетраэдрия. Минералогическая сказка. **Расцветаева Р.К.** **4** 58

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

Исследования черноморских дельфинов продолжаются. **Агафонов А.В., Панова Е.М., Логоминова И.В.** **3** 84

От субтропиков до тайги и тундростепей: путешествие по горам Циньлин и восточной окраине Тибета. **Махров А.А., Артамонова В.С., Бобров В.В., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Павлова С.В., Шефтель Б.И.** **3** 70

В КОНЦЕ НОМЕРА

Война миров. **Комаров В.Н.** **10** 79

ВРЕМЕНА И ЛЮДИ

Александр фон Гумбольдт. К 250-летию со дня рождения и 190-летию путешествия по России. **Чичагов В.П.** **12** 41
Биостратиграфия как предчувствие. К 250-летию со дня рождения Вильяма Смита. **Комаров В.Н., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У.** **4** 67
Более полувека с «Природой». **Родкин М.В.** **2** 87
Возвращение имени: зоолог Борис Сукачёв. **Гончаренко Н.В.** **6** 79
Л.Д.Ландау и А.И.Китайгородский как просветители и популяризаторы науки. **Щербаков Р.Н.** **10** 62
Лизе Мейтнер — «мадам Кюри» немецкой науки. **Щербаков Р.Н.** ***5*** 77
Мария Васильевна Кленова: наука и жизнь. **Бараш М.С.** **7** 80

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Вулканы-скульпторы. **Быкасов В.Е.** ***5*** 69
Золотистая ржанка на Вишерском Урале. **Колбин В.А.** **10** 56

ИНТЕРВЬЮ

Век науки о полимерах[1]. Интервью **Хохловым А.Р.** **3** 3
Люди, создающие новые материалы: от поколения X до поколения Z. Интервью с **Гудилиным Е.А.** **8** 3
«Мы приблизились к границам применимости периодического закона»[1]. Интервью с **Оганесяном Ю.Ц.** **2** 4
Созидание «лестницы» химического образования[1]. Интервью с **Луниным В.В.** **2** 12
Таблица Менделеева — универсальное звено культурного кода[1]. Интервью с **Тарасовой Н.П.** **3** 8
Химики о Периодической таблице: профессиональный инструмент, научная икона, открытая книга?[1] Интервью с **Антиповым Е.В., Бабаевым Е.В., Зломановым В.П., Ивановым А.В., Карякиным А.А., Шевельковым А.В., Яценко А.В.** **2** 17

НАУКА И ОБЩЕСТВО

Даниил Гранин и наука: открытие А.А.Любищева и Н.В.Тимофеева-Ресовского. К 100-летию Д.А.Гранина. **Голубовский М.Д.** **2** 77

[1] Интервью подготовила Е.В.Сидорова.

ЖОРЕС МЕДВЕДЕВ И ЕГО «ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОЛЕТИЯ»
Драма в истории биологии. **Голубовский М.Д.** **4** 72
Проблемы долголетия. **Медведев Ж.А.** **4** 80
К 150-летию романа Жюля Верна «Двадцать тысяч лье под водой». **Смолицкий С.В.** ***5*** 57

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Амулет древних морских зверобоев с побережья Охотского моря. **Лебединцев А.И.** **8** 74
Волосатики и степени свободы в эволюции белков. **Панчин А.Ю.** **8** 68
Глубоководные склерактиниевые кораллы — обитатели гайотов. **Келлер Н.Б., Зарайская Ю.А.** **8** 63
Кимберлитовые трубки и флюидный вулканизм. **Чудов С.В.** **3** 66
Расцвет и закат гетероспоровых плауновидных. **Наугольных С.В.** **7** 72
Ультраструктуры в ископаемых углях. **Кизильштейн Л.Я.** ***5*** 67

НЕКРОЛОГ

Предел Кардашёва. **Липунов В.М.** **8** 77

НОВЫЕ КНИГИ

1 94, **2** 92, **3** 94, **4** 95, ***5*** 93, **6** 94, **7** 94, **10** 77, **11** 78, **12** 68

РЕЦЕНЗИИ

Как найти своего динозавра (на кн.: Д.В.Григорьев. Как откопать своего динозавра. Серия «Знакомимся с природой»). **Комаров В.Н.** **11** 77
Мезозойские чудовища Поволжья (на кн.: А.Е.Нелихов, М.С.Архангельский, А.В.Иванов. Когда Волга была морем. Левиафаны и пилигримы). **Комаров В.Н.** ***5*** 88
О драконах, оборотнях и животных-экстрасенсах с точки зрения науки (на кн.: О.Арнольд. Люди и звери: мифы и реальность). **Маркина Н.В.** **6** **91**
О единстве и разнообразии геосфер Земли (на кн.: И.А.Стародубцева и др. Путеводитель по залам Государственного геологического музея им. В.И.Вернадского РАН). **Комаров В.Н.** **3** 91
От геологии Земли к познанию человека. Размышления историографов по поводу монографии академика М.И.Кузьмина (на кн.: М.И.Кузьмин. Мое познание геологии Земли). **Базаров Б.В., Курас Л.В.** **7** 89
Что нам не надо знать о пермском периоде (на кн.: К.А.Добрянских. Пермский геологический период. Пермь великая: впечатления через край). **Наугольных С.В.** **12** 66

Авторский указатель за 2019 год

Аверьянов А.О. **10** 26
Агапкина Г.И. (Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Мамихин С.В.)* **7** 40
Агафонов А.В. (Панова Е.М., Логоминова И.В.) **3** 84
Агафонов А.В. (Чернецкий А.Д.) **5** 35
Адрианов А.В. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А.) **6** 24
Аксенов С.М. (Расцветаева Р.К.) **3** 14
11 73
Алексинский В.С. (Томин Н.В., Бутов И.С., Московский А.В., Флоренский П.В., Дебелый М.А.) **10** 9
Амирханов Х.А. (Ожерельев Д.В., Успенская О.И.) **1** 5
Антипов Е.В. (Бабаев Е.В., Зломанов В.П., Иванов А.В., Карякин А.А., Шевельков А.В., Яценко А.В.) **2** 17
Артамонова В.С. (Махров А.А., Бобров В.В., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Павлова С.В., Шефтель Б.И.) **3** 70
Архангельский М.С. (Зверьков Н.Г.) **9** 76
10 75
Ахунов Ф.Ф. (Комаров В.Н., Еременко Р.У.) **4** 67

Бабаев Е.В. (Антипов Е.В., Зломанов В.П., Иванов А.В., Карякин А.А., Шевельков А.В., Яценко А.В.) **2** 17
Базаров Б.В. (Курас Л.В.) **7** 89
Банных О.А. (Солнцев К.А., Цветков Ю.В., Иевлев В.М.) **12** 3
Бараш М.С. **7** 80
Беляев Л.А. **3** 58
Беляков А.Ю. (Прыгов В.И.) **12** 32
Берман Д.И. (Булахова Н.А.) **7** 12
Бобров В.В. (Махров А.А., Артамонова В.С., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Павлова С.В., Шефтель Б.И.) **3** 70
Боброва Д.А. (Казакова Е.Н., Казаков Н.А.) **8** 44
Богачук Д.С. (Сиротин С.В., Маслов В.Е.) **1** 50
Брылёв В.А. (Князев Ю.П., Моников С.Н.) **10** 49
Булахова Н.А. (Берман Д.И.) **7** 12
Бутов И.С. (Томин Н.В., Алексинский В.С., Московский А.В., Флоренский П.В., Дебелый М.А.) **10** 9
Быкасов В.Е. **5** 69
Бялко А.А. **9** 64
Бялко А.В. **9** 45
9 72
12 52
12 62

Верховов К.В. (Рыбальченко С.В.) **2** 70
Вечерский М.В. (Кузнецова Т.А., Степаньков А.А.) **2** 55
Вибе Д.З. **4** 3
Виноградов Г.М. (Галкин С.В.) **5** 10
6 16

Гаврилов А.А. **5** 16
Галимов Э.М. **6** 44
Галкин С.В. (Виноградов Г.М.) **5** 10
6 16
Галкин С.В. (Крылова Е.М., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Голубовский М.Д. **2** 77
4 72
Гончаренко Н.В. **6** 79
Гордеев И.И. (Кловач Н.В.) **3** 22
Гудилин Е.А. **8** 3

Дашкевич Л.В. (Ильичев В.Г., Кулыгин В.В.) **8** 54
Дебелый М.А. (Томин Н.В., Бутов И.С., Алексинский В.С., Московский А.В., Флоренский П.В.) **10** 9
Денисов В.А. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Державин В.Л. **4** 46
Дмитриев И.С. **2** 34
Добровольская М.В. (Решетова И.К.) **1** 34
Дробинина Е.В. (Катаев В.Н.) **11** 62

Еременко Р.У. (Комаров В.Н., Ахунов Ф.Ф.) **4** 67
Ефремов Ю.Н. **7** 3

Завойкин А.А. (Кузнецов В.Д., Ольховский С.В.) **1** 57
Зарайская Ю.А. (Келлер Н.Б.) **8** 63
Зверьков Н.Г. (Архангельский М.С.) **9** 76
10 75
Зеленков Н.В. (Лопатин А.В.) **4** 29

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы.

Зломанов В.П. (Антипов Е.В., Бабаев Е.В., Иванов А.В., Карякин А.А., Шевельков А.В., Яценко А.В.) **2** 17

Иванов А.В. (Антипов Е.В., Бабаев Е.В., Зломанов В.П., Карякин А.А., Шевельков А.В., Яценко А.В.) **2** 17
Иевлев В.М. (Солнцев К.А., Банных О.А., Цветков Ю.В.) **12** 3
Измайлов С.Ф. (Никитин А.В.) **10** 43
Ильичев В.Г. (Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В.) **8** 54
Инге-Вечтомов С.Г. **11** 3
Исмагилов Р.А. (Фархутдинов А.М., Фархутдинов И.М.) **7** 52

Казаков Н.А. (Боброва Д.А., Казакова Е.Н.) **8** 44
Казакова Е.Н. (Боброва Д.А., Казаков Н.А.) **8** 44
Каневский Г.И. (Клубничкин А.М., Сазонов К.Е.) **11** 32
Карякин А.А. (Антипов Е.В., Бабаев Е.В., Зломанов В.П., Иванов А.В., Шевельков А.В., Яценко А.В.) **2** 17
Катаев В.Н. (Дробинина Е.В.) **11** 62
Келлер Н.Б. (Зарайская Ю.А.) **8** 63
Кизильштейн Л.Я. ***5*** 67
Кловач Н.В. (Гордеев И.И.) **3** 22
Клубничкин А.М. (Каневский Г.И., Сазонов К.Е.) **11** 32
Князев Ю.П. (Брылёв В.А., Моников С.Н.) **10** 49
Коблик Е.А. (Махров А.А., Артамонова В.С., Бобров В.В., Лебедев В.С., Павлова С.В., Шефтель Б.И.) **3** 70
Колбин В.А. **10** 56
Колокольцев В.Г. **7** 27
Колпаков Е.В. (Крылова Е.М.) **6** 30
Комаров В.Н. (Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У.) **4** 67
Комаров В.Н. **3** 91
5 88
10 79
11 77
Комиссарова О.Л. (Парамонова Т.А., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.) **7** 40
Коробов Д.С. **1** 68
Кренке Н.А. **1** 24
Крылова Е.М. (Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Крылова Е.М. (Колпаков Е.В.) **6** 30
Крюкова Н.В. **8** 20
Крячко Т.В. **9** 35
Кузнецов В.Д. (Ольховский С.В., Завойкин А.А.) **1** 57
Кузнецова Т.А. **6** 85
Кузнецова Т.А. (Вечерский М.В., Степаньков А.А.) **2** 55
Кузьменкова Н.В. (Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.) **7** 40
Кулыгин В.В. (Ильичев В.Г., Дашкевич Л.В.) **8** 54
Курас Л.В. (Базаров Б.В.) **7** 89

Лебедев В.С. (Махров А.А., Артамонова В.С., Бобров В.В., Коблик Е.А., Павлова С.В., Шефтель Б.И.) **3** 70
Лебединцев А.И. **8** 74
Леин А.Ю. **2** 44
Линге И.А. **4** 23
Липунов В.М. **8** 77
Лобкина В.А. (Музыченко А.А.) **3** 39
Логоминова И.В. (Агафонов А.В., Панова Е.М.) **3** 84
Лопатин А.В. **6** 53
6 86
9 77
Лопатин А.В. (Зеленков Н.В.) **4** 29
Лукашов А.А. **2** 60
Лукашов А.А. (Смоктунович Т.Л.) **11** 50
Лунин В.В. **2** 12

Макаров Н.А. **1** 3
1 78
Малютин А.Н. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Мамихин С.В. (Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И.) **7** 40
Маркина Н.В. **6** 91
Маслов В.Е. (Сиротин С.В., Богачук Д.С.) **1** 50
Махинов А.Н. **3** 28
4 12
Махров А.А. (Артамонова В.С., Бобров В.В., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Павлова С.В., Шефтель Б.И.) **3** 70
Медведев Ж.А. **4** 80
Медникова М.Б. **1** 15
Мимоход Р.А. **1** 43
Минеев В.П. **9** 54
Мирлин Е.Г. (Оганесян Л.В.) **8** 13
Михайлик П.Е. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Моников С.Н. (Брылёв В.А., Князев Ю.П.) **10** 49
Мордухович В.В. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Московский А.В. (Томин Н.В., Бутов И.С., Алексинский В.С., Флоренский П.В., Дебелый М.А.) **10** 9
Музыченко А.А. (Лобкина В.А.) **3** 39
Мурзин Ю.А. **10** 19
Мычко Э.В. **3** 47

Наугольных С.В. **7** 72
12 67
Никитин А.В. (Измайлов С.Ф.) **10** 43
Николаев Н.Н. **9** 60
Новиков Г.В. **11** 39

Оганесян Л.В. (Мирлин Е.Г.) **8** 13
Оганесян Ю.Ц. **2** 4
Ожерельев Д.В. (Амирханов Х.А., Успенская О.И.) **1** 5
Ольховский С.В. (Кузнецов В.Д., Завойкин А.А.) **1** 57
Орлов М.А. **12** 25

Павлова С.В. (Махров А.А., Артамонова В.С., Бобров В.В., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Шефтель Б.И.) **3** 70
Панова Е.М. (Агафонов А.В., Логоминова И.В.) **3** 84
Панчин А.Ю. **8** 68
Парамонова Т.А. (Комиссарова О.Л., Турыкин Л.А., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.) **7** 40
Пац К.М. (Порозов Ю.Б.) **2** 49
Покровский В.Л. **9** 38
Полоник Н.С. **6** 36
Полоник Н.С. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Санамян Н.П., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Попова О.Н. **8** 30
Порозов Ю.Б. (Пац К.М.) **2** 49
Портнов А.М. **4** 40
12 18
Прыгов В.И. (Беляков А.Ю.) **12** 32
Пунанова С.А. (Родкин М.В.) **10** 35

Расцветаева Р.К. **4** 58
Расцветаева Р.К. (Аксенов С.М.) **3** 14
11 73
Решетова И.К. (Добровольская М.В.) **1** 34
Родкин М.В. **2** 87
Родкин М.В. (Пунанова С.А.) **10** 35
Розенфельд А.В. **10** 3
Рыбальченко С.В. (Верховов К.В.) **2** 70

Сагалевич А.М. **6** 3
Сазонов К.Е. (Каневский Г.И., Клубничкин А.М.) **11** 32
Санамян Н.П. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Шилов В.А., Адрианов А.В.) **6** 24
Сафронова О.С. **12** 56
Сергин В.Я. **11** 14
Синай Я.Г. **9** 44
Сиротин С.В. (Маслов В.Е., Богачук Д.С.) **1** 50
Слуковский З.И. ***5*** 29
12 8
Смоктунович Т.Л. (Лукашов А.А.) **11** 50
Смолицкий С.В. ***5*** 57
Солнцев К.А. (Банных О.А., Цветков Ю.В., Иевлев В.М.) **12** 3
Степаньков А.А. (Кузнецова Т.А., Вечерский М.В.) **2** 55
Степаньян О.В. **6** 62
Суворов А.Н. **4** 54
Сударикова Е.В. **6** 89

Тарасова Н.П. **3** 8
Томин Н.В. (Бутов И.С., Алексинский В.С., Московский А.В., Флоренский П.В., Дебелый М.А.) **10** 9
Турыкин Л.А. (Парамонова Т.А., Комиссарова О.Л., Кузьменкова Н.В., Агапкина Г.И., Мамихин С.В.) **7** 40

Успенская О.И. (Амирханов Х.А., Ожерельев Д.В.) **1** 5

Фархутдинов А.М. (Фархутдинов И.М., Исмагилов Р.А.) **7** 52
Фархутдинов И.М. (Фархутдинов А.М., Исмагилов Р.А.) **7** 52
Фащук Д.Я. **11** 20
Фейгельман М.В. **9** 58
Флоренский П.В. (Томин Н.В., Бутов И.С., Алексинский В.С., Московский А.В., Дебелый М.А.) **10** 9

Халатников И.М. **9** 5
9 70
Хохлов А.Р. **3** 3

Цветков Ю.В. (Солнцев К.А., Банных О.А., Иевлев В.М.) **12** 3

Чернецкий А.Д. (Агафонов А.В.) ***5*** 35
Черных Е.Н. ***5*** 44
6 71
7 62
Чернышев А.К. **9** 20
Чичагов В.П. **12** 41
Чудов С.В. **3** 66

Шевельков А.В. (Антипов Е.В., Бабаев Е.В., Зломанов В.П., Иванов А.В., Карякин А.А., Яценко А.В.) **2** 17
Шевченко В.А. ***5*** 3
Шефтель Б.И. (Махров А.А., Артамонова В.С., Бобров В.В., Коблик Е.А., Лебедев В.С., Павлова С.В.) **3** 70
Шилов В.А. (Крылова Е.М., Галкин С.В., Мордухович В.В., Денисов В.А., Малютин А.Н., Михайлик П.Е., Полоник Н.С., Санамян Н.П., Адрианов А.В.) **6** 24

Щербаков Р.Н. ***5*** 77
10 62

Энговатова А.В. **1** 88

Яценко А.В. (Антипов Е.В., Бабаев Е.В., Зломанов В.П., Иванов А.В., Карякин А.А., Шевельков А.В.) **2** 17

Реклама

Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

Издательство «Наука» готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-залах и на экспозиционных площадках издательства по адресам:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1
Московская обл., г. Люберцы, Октябрьский пр-т, д. 403

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735
Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ПРИРОДА 12/2019

Соучредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»
Главный редактор: А.Ф.Андреев
Заместитель главного редактора: А.В.Бялко

Ответственный секретарь
Е.А.Кудряшова

Научные редакторы
М.Б.Бурзин
Т.С.Клювиткина
Е.В.Сидорова
Н.В.Ульянова
О.И.Шутова

Литературный редактор
Е.Е.Жукова

Заведующая редакцией
И.Ф.Александрова

Перевод содержания
Т.А.Кузнецова

Графика, верстка:
С.В.Усков

Подписной индекс: 70707
Дата выхода в свет: 12.12.2019
Формат 60×88 1/8. Цифровая печать
Усл. печ. л. 10.0. Уч. изд. л. 10.2
Бум. л. 5
Тираж 1000 экз.
Цена свободная
Заказ 76
Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»
Адрес: 117997, Москва, ул.Профсоюзная, 90
По вопросам публикации материалов:
тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4171),
e-mail: priroda@naukaran.com
По вопросам сотрудничества:
тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4301 или 4291),
e-mail: journals@naukaran.com
Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»
Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., 6.

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом Совета министров СССР по печати 13 декабря 1990 г.
Свидетельства о регистрации №1202 и ПИ №1202.
Все права защищены. Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.
Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.
Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

12+

https://naukabooks.ru/zhurnali/katalog/priroda/

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ
ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ

Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2019 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.
Стоимость полугодового комплекта (3 номера) 750 руб.
Стоимость 1 номера 400 руб.
Редакция журнала
Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-31)
E-mail: zevs@naukaran.com
ул. Профсоюзная, 90, к. 423

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.
Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1800 руб.
Стоимость 1 номера 500 руб.
Редакция журнала
Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 41-71)
E-mail: priroda@naukaran.com
ул. Профсоюзная, 90, к. 416

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1500 руб.
Стоимость 1 номера 500 руб.
Редакция журнала
Тел.: +7(495) 362-57-66
E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru
ул. Красноказарменная, 17а

Реклама

Подписаться можно в редакциях указанных журналов.
Убедительная просьба связаться с редакциями перед визитом.

В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГУП «Издательство «Наука»:
Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-91 или 43-01)
E-mail: journals@naukaran.com

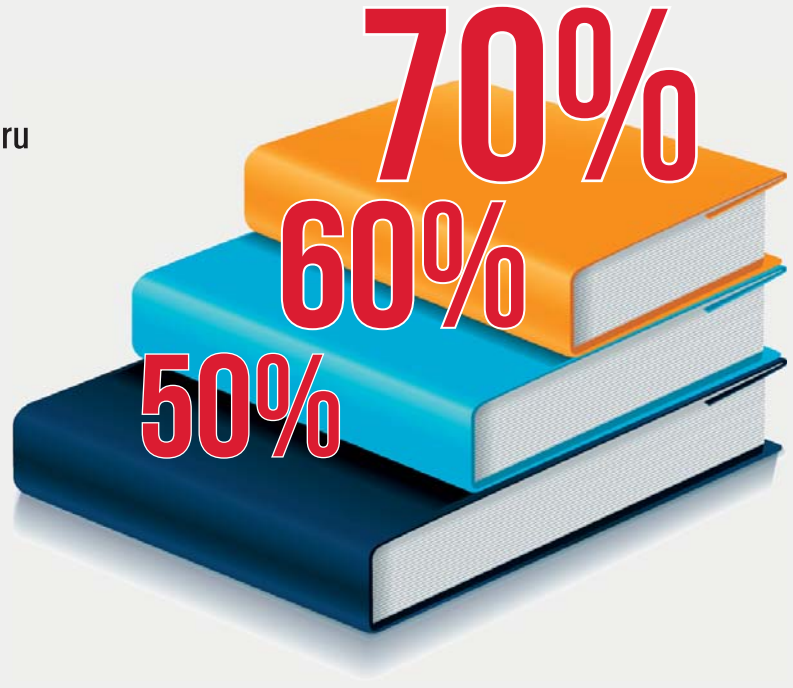
40% НА КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

акция распространяется
в сети магазинов «Академкнига»
и в интернет-магазине naukabooks.ru

BOOK SALE

ЕЩЁ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

акция распространяется
в интернет-магазине naukabooks.ru



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА 1727

Реклама