

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

2⁽⁴⁴⁾ ● 2012

ГОСТИ
ИЗ ЛЕДНИКОВОГО
ПЕРИОДА

ПО СТУПЕНЯМ
ЭВОЛЮЦИИ

ЗАПЧАСТИ
ДЛЯ СКЕЛЕТА

СИБИРСКИЙ
САД
КАМНЕЙ

РЕЦЕПТЫ
СОТВОРЕНИЯ
МИРА





Безымянное высокогорное озеро, окруженное каменными россыпями. *Саяны, Северная Тува*

«...Население «каменных рек» изучать непросто. Вручную можно собрать лишь малую часть беспозвоночных, ведь далеко не всякую глыбу можно перевернуть руками, а тяжелую технику для разбора курумов в высокогорья не завезти. Обитатели россыпей редко попадают в ловушки, поскольку почти не выходят на поверхность и обладают развитым осязанием. К этому нужно добавить короткий период сезонной активности животных и труднодоступность высокогорий, куда можно добраться зачастую только пешком, с тяжелым рюкзаком за спиной»



на стр. 106

2. 2012
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук



В НОМЕРЕ:

Вопросы образования и эволюции нашей планеты до сих пор вызывают среди ученых жаркие споры: «Холодной» или «горячей» была «юная» Земля? Как сформировалось ее железное ядро? Как долго существовал на планете магматический океан?

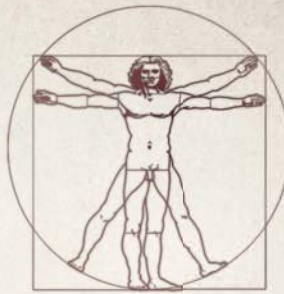
Основополагающий принцип персонализированной медицины – «лечить не болезнь, а больного» – сегодня воплощается в жизнь благодаря успехам молекулярной биологии

С помощью современных технологий «трехмерной печати» можно всего за несколько суток создать для конкретного пациента идеально подогнанный металлический протез

Труд С. П. Крашенинникова «Описание Земли Камчатки» стал не только первой русской научной монографией и региональной энциклопедией, но и международным «бестселлером»

В каменных россыпях – этих «пещерах наизнанку» – сохранились такие реликты давно ушедших эпох, как процветавшие уже в каменноугольном периоде тараканосверчки

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. Н.Л. Добрецов

заместитель главного редактора
акад. В.В. Власов

заместитель главного редактора
акад. В.Ф. Шабанов

ответственный секретарь
Л.М. Панфилова

акад. М.А. Грачев

акад. А.П. Деревянко

чл.-корр. А.В. Латышев

акад. Н.П. Похиленко

акад. М.И. Эпов

к. ф.-м. н. Н.Г. Никулин

Редакционный совет

акад. Л.И. Афтанас
чл.-корр. Б.В. Базаров
чл.-корр. Е.Г. Бережко
акад. В.В. Болдырев
акад. А.Г. Дегерменджи
д.м.н. М.И. Душкин
проф. Э. Краузе (Германия)
акад. Н.А. Колчанов
акад. А.Э. Конторович
акад. Э.П. Кругляков
акад. М.И. Кузьмин
акад. Г.Н. Кулипанов
д.ф.-м.н. С.С. Кутателадзе
проф. Я. Липковски (Польша)
акад. Н.З. Ляхов
акад. Б.Г. Михайленко
акад. В.И. Молодин
д.б.н. М.П. Мошкин
чл.-корр. С.В. Нетесов
д.х.н. А.К. Петров
проф. В. Сойфер (США)
чл.-корр. А.М. Федотов
д.ф.-м.н. М.В. Фокин
д.т.н. А.М. Харитонов
чл.-корр. А.М. Шалагин
акад. В.К. Шумный
д.и.н. А.Х. Элерт

«Естественное желание хороших
людей – добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)
Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН
Институт археологии и этнографии
СО РАН
Лимнологический институт СО РАН
Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН
Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН
Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

Адрес редакции:
630090, Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 11
Тел.: +7 (383) 332-27-22, 330-21-77
Факс: +7 (383) 330-26-67
e-mail: zakaz@info-press.ru
e-mail: editor@info-press.ru

www.ScienceFirstHand.ru

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство ПИ № ФС77-37577
от 25 сентября 2009 г.

ISSN 1810-3960

Тираж 2 000 экз.

Отпечатано в типографии
ООО «ИД „Вояж“» (Новосибирск)

Дата выхода в свет 26.06.2012

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2012
© «ИНФОЛИО», 2012

Над номером работали

Л. Беляева
к.х.н. И. Гайнутдинов
к.филол.н. Н. Копанева
С. Коротаев
к.б.н. Л. Овчинникова
Л. Панфилова
к.б.н. М. Перепечева
к.х.н. С. Прокопьев
А. Харкевич

Дорогие друзья!

В этом выпуске нашего журнала мы вновь обращаемся к теме происхождения и эволюции Земли. Как формировалась наша планета из протопланетного газопылевого диска, окружавшего молодое Солнце? «Холодной» или «горячей» была «юная» Земля? Какие процессы привели к образованию внутрипланетного железного ядра? Существовал ли на ранних стадиях Земли магматический океан? Наконец, как наша планета обзавелась своим спутником – Луной?

На сегодняшний день существует ряд гипотез, описывающих эволюцию внутреннего устройства и внешних оболочек Земли. Часть из них является общепризнанными, другие вызывают жаркие споры. Но любая, даже спорная теория представляет несомненный научный интерес, в особенности, если она базируется на фактах.

Сегодня мы представляем читателю оригинальную гипотезу доктора геолого-минералогических наук В.С. Шкодринского из Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (г. Якутск), которая на основе анализа геологических и космохимических данных описывает характер аккреции (концентрации земного вещества) и последующей эволюции магматического океана, сформировавшегося на ранних стадиях развития Земли и существовавшего, по мнению автора, более четырех миллиардов лет. Автор подчеркивает роль магнитных взаимодействий в протопланетном облаке, которые могли ускорить формирование железосодержащих планетных зародышей, в результате чего железное ядро нашей планеты могло сформироваться гораздо быстрее, чем это следует из общепринятых теорий фракционирования Земли.

В альтернативной статье излагается другая версия на основе обзора современных представлений о стадиях эволюционного развития Земли, от планетного зародыша до современного состояния. Магматический океан глущиной до 1000 км скорее всего существовал, но короткое время. Основным фактором, определявшим изменения внутреннего и внешнего облика планеты, было ее непрерывное остывание, а также ступенчато-прогрессивное окисление ее поверхности и приповерхностных оболочек (земной коры, гидросферы, атмосферы). Еще в одном комментарии известного астрофизика Б. Вуда (B. Wood) подтверждается гипотеза магматического океана, но при очень быстром образовании металлического ядра Земли. Значение подобных работ по реконструкции исторической картины далекого прошлого нашей планеты трудно переоценить – они позволяют лучше понять современное состояние планеты и оценить перспективы ее развития.

В новом выпуске мы продолжаем цикл публикаций, посвященный крупнейшему отечественному научному предприятию, положившему начало академическому изучению Сибири – Второй Камчатской экспедиции.



Сегодня нашим героем стал один из ее участников – Степан Петрович Крашенинников, 300-летие со дня рождения которого в 2011 г. прошло почти незамеченным научной общественностью. А между тем Крашенинников был в числе первых русских академиков (с М.В. Ломоносовым и В.К. Тредиаковским), и В.И. Вернадский считал 1737 год, «когда Крашенинников отправился самостоятельным ученым на Камчатку», памятным годом в истории русской культуры: «Это было первое начало самостоятельной научной работы русского общества».

Труд Крашенинникова «Описание Земли Камчатки» стал первым произведением на русском языке, в котором одна из территорий Российской империи была всесторонне описана на основе собственных наблюдений и исследований. В XVIII в. этот труд стал настолько популярен, что был переведен и издан на английском, немецком, французском языках, а к иллюстрированию этих изданий привлекали самых известных художников и гравировщиков.

Советский историк Б.П. Полевой справедливо писал, что «„Описание Земли Камчатки“ – это самая первая в истории России научная академическая монография и первая русская региональная энциклопедия».

Сам же ее автор, проживший всего 44 года, успел сделать так много, что его жизнь может служить нам примером беззаветного служения науке и обществу.

Академик Н.Л. Добрецов,
главный редактор

ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ СЕНСАЦИЯ из ЯКУТИИ: мамонт-подросток Юка, растерзанная пещерными львами ленская лошадь и самый «целый» в мире первобытный бизон. **С. 6**

В разгар «холодной войны» **НОВЫЙ МИНЕРАЛ** из семейства **ЦИРКОНОСИЛИКАТОВ**, обнаруженный советскими геологами, был назван в честь американского космонавта. **С. 32**

.01

НОВОСТИ НАУКИ

6 Г. Г. Боевский, Е. Н. Мащенко, И. Н. Белолубский, М. Д. Томшин
Гости из ледникового периода

.02

ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

12 В. С. Шкодзинский
Рецепты сотворения мира.
Геологические данные как основа для выяснения происхождения Земли

22 Н. Л. Добрецов
По ступеням эволюции.
Эволюция Земли, ландшафтной оболочки, климата и биосферы

.03

ФАКУЛЬТЕТ

32 Н. В. Владыкин
Минералы земные и небесные

.04

ЧЕЛОВЕК

44 М. Бэкстрем, Л.-Э. Реннар, А. В. Коптюг
Запчасти для скелета

58 Г. И. Лифшиц, М. Л. Филипенко, А. И. Шевела
Персонализированная медицина.
Лечить не болезнь, а больного

.05

НАУКА – ТЕХНОЛОГИЯМ

66 В. Н. Шлегель
За гранью кристалла-сцинтиллятора

.06

ОТКРЫТИЕ СИБИРИ

72 Н. П. Копанева
Степан Петрович Крашенинников:
25 773 версты по Сибири и Камчатке

98 Д. Г. Савинов
О раскопках погребения
С. П. Крашенинникова в Петербурге

.07

ЛИЦОМ К ПРИРОДЕ

106 Р. Ю. Дудко, И. И. Любечанский, В. В. Дубатов, Ю. Н. Марусик
Сибирский Сад камней

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ для экспериментов по поиску «ТЕМНОЙ МАТЕРИИ» в японском ядерном центре «КЕК» были выращены в Сибири. **С. 66**

Знаменитые слова С. П. Крашенинникова, одного из первых русских академиков, – «**ЗНАТЬ СВОЕ ОТЕЧЕСТВО** во всех его пределах» – стали знаменем отечественной науки XVIII в. **С. 98**



Останки так называемого Юкагирского мамонта – голова с бивнями, передняя нога, фрагменты шкуры и кости скелета – были найдены на Яно-Индигорской низменности в 2002 г. сыновьями главы местной общины «Юкагир» В.Г. Горохова. Мамонт получил особую известность благодаря тому, что его голова стала главным экспонатом и эмблемой Всемирной выставки ЭКСПО-2005 в Японии. На фото – голова Юкагирского мамонта в леднике в г. Якутске перед вывозом в Японию

Гости из ледникового периода

На территории Якутии – самого сурового региона нашей страны, в 2010–11 гг. были сделаны новые находки ископаемых млекопитающих так называемой мамонтовой фауны ледникового периода: шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius* Blum.), ленской лошади (*Equus lenensis* Russ.) и первобытного бизона (*Bison priscus* Voj.). В настоящее время идет всестороннее изучение редчайших находок, отличающихся прекрасной сохранностью

В Якутии – экстремально холодном регионе, где находится полюс холода Северного полушария, – в широко распространенной здесь «вечной» мерзлоте издавна находили сохранившихся в замороженном состоянии вымерших представителей флоры и фауны ледникового периода. Наиболее известный из них – шерстистый мамонт, вымерший около 4000 лет назад.



Размах рогов этого ископаемого бизона, обнаруженного в ледяном обрыве Ойягосского яра в 2010 г., достигал 75 см

Со времен находки первой якутской палеонтологической сенсации – цельного труп мамонта, обнаруженного в 1799 г. местными тунгусами (его скелет с остатками шерсти и тканей был отправлен в Петербургскую Академию наук молодым адъютантом М. Адамсом), на севере Якутии были найдены остатки и других мамонтов, ленской лошади, шерстистого носорога, первобытного бизона, а также росомахи, которые пролежали в толще многолетнемерзлых пород более 10–20 тыс. лет.

Исследования этих находок в свое время позволили получить информацию не только об анатомии и морфологии ископаемых животных, но и об особенностях их питания, а также условиях среды их обитания. А в последние годы остатки животных мамонтовой фауны привлекают внимание микробиологов и молекулярных генетиков. Последним, кстати, уже удалось расшифровать митохондриальный и половину ядерного геномов мамонта.

Поэтому каждая находка останков древних животных, сохранившихся вместе с мягкими тканями в условиях низких температур, представляет огромный научный интерес для палеонтологов и палеогенетиков, палеоэкологов и палеогеографов.

Два прошедших года оказались рекордно «урожайными» для якутских ученых. В июле 2010 г. на южном побережье моря Лаптевых были найдены заморожен-

ные остатки ископаемой лошади, а в августе того же года, всего в 50 м от места этой находки, вытяял труп молодого мамонта. Еще год спустя в 100 км юго-западнее, на берегу о. Чукчалах был обнаружен замороженный труп первобытного бизона. Все три находки ископаемых животных были сделаны членами местной родовой общины «Юкагир», которые в летнее время занимаются традиционными видами хозяйственной деятельности (охота, рыбная ловля, сбор бивней мамонта) в этих, одних из самых труднодоступных, суровых и малоосвоенных районах крайнего севера Якутии.

Во время же ледникового периода Яно-Индигорская низменность представляла собой обширное тундро-степное пространство с богатой травяной растительностью, и в этих благоприятных условиях численность млекопитающих могла достигать больших размеров. Об этом свидетельствуют и более ранние находки на землях захоронений этих животных, включая обнаруженное в 1994 г. настоящее кладбище мамонтов (Боескоров и др., 2006).

Согласно укоренившейся среди палеонтологов традиции, найденный в 2010 г. мамонтенок получил собственное имя «Юка» в честь общины «Юкагир». Главная научная ценность этой находки в том, что в распоряжение ученых впервые попали останки мамонта подросткового возраста (4–6 лет).

Шкура Юки хорошо сохранилась, несмотря на повреждения кожных покровов. Практически полностью уцелел хобот, что бывает крайне редко, т. к. эта часть тела была, по-видимому, особенно лакомой для хищников. Хорошо сохранились также большая

Ключевые слова: шерстистый мамонт, ленская лошадь, шерстистый носорог, первобытный бизон, росомаха, замороженный труп, пещерный лев, плейстоцен.

Key words: woolly mammoth, Lena horse, woolly rhinoceros, primeval bison, wolverine, frozen corpse, cave lion, Pleistocene



Останки мамонта-подростка, названного Юкой, вытаяли в 2010 г. в обрыве Ойягосского яра на южном побережье моря Лаптевых. У мамонтенка хорошо сохранилась фактура поверхностного слоя кожи, височная и молочные железы, левое ухо, хобот, верхняя и нижняя губы, а также конечности



Такие глубокие раны на толстой, почти сантиметровой, коже мамонтенка могли сделать только когти пещерного льва – одного из самых страшных хищников ледникового периода. Однако эти раны вряд ли стали причиной смерти мамонтенка

часть костей и мягких тканей конечностей, а также отдельные части скелета, включая череп, с остатками мягких тканей и связок. Юка оказалась самочкой. Высота ее составляла около 165 см в холке, а длина тела – около 205 см. Вес живого мамонта мог быть около 450–550 кг.

Причина смерти мамонтенка пока не установлена. На его шее, брюхе, холке, задней поверхности ног имеются глубокие царапины, больше всего похожие на следы когтей пещерного льва, однако раны, причи-

ненные когтями этого страшного хищника, не были смертельными.

Этого нельзя сказать в отношении ископаемой лошади. По-видимому, она действительно стала жертвой хищников, скорее всего, тех же пещерных львов. На сохранившихся участках кожи лошади имеются многочисленные рваные отверстия и полосы, которые, по всей видимости, являются следами когтей крупного хищника; передняя часть головы, по-видимому, была откушена, голова с шеей и передние ноги оторваны.



Судя по немногочисленным измерениям, которые удалось снять с останков, это была кобыла возрастом около 5 лет, принадлежащая к низкорослым лошадям, – по-видимому, к вымершей ленской лошади. Несмотря на то, что останки юкагирской лошади значительно пострадали от хищников, она представляет немалый научный и музейный интерес, поскольку является достаточно редким палеонтологическим объектом.

Зато находка ископаемого бизона порадовала прекрасной сохранностью. Тело бизона сохранилось полностью, оно не имеет никаких повреждений и, что особенно важно, у него полностью сохранились все внутренние органы, включая содержимое желудка и кишечника. Все это позволяет отнести его к уникальным палеонтологическим объектам. Остатки трупов ископаемых бизонов редки, до сих пор таковые были обнаружены лишь на Аляске (имеется в виду знаменитый «Голубой бизон», реконструированное чучело которого выставлено в Музее естественной истории г. Фербенкса), а также в бассейне р. Индигирка. Однако сохранность этих находок не идет ни в какое сравнение с сохранностью останков юкагирского бизона.

Перед нами – молодой бык возрастом около 4 лет. Высота бизона в холке составляла около 170 см, вес – около 500–600 кг, а размах рогов достигал 75 см. Причина его смерти пока не установлена, но подогнутые ноги и вытянутая шея демонстрируют типичную «позу смерти» бизонов, умирающих по естественным причинам. Никаких следов повреждений, нанесенных хищниками не было обнаружено.

В первичных исследованиях новых находок, которые были проведены в марте 2012 г. в Институте геологии

алмаза и благородных металлов СО РАН (Якутск), приняли участие специалисты разного профиля из Якутска, Москвы, Санкт-Петербурга, а также их зарубежные коллеги из США и Франции. На всех трех особях были проведены морфологические исследования, которые нужны для сравнения их с уже известными находками, а также, как в случае с бизоном и лошадей, – с современными видами.

С останков были также отобраны пробы на микробиологический, радиоуглеродный, молекулярно-генетический и другие виды анализов, на основе которых можно будет впоследствии установить причины и время гибели животных, особенности их питания, состав древней растительности и, соответственно, особенности климата. Кроме того, в содружестве с зарубежными коллегами планируется подвергнуть останки животных сканированию с помощью методов компьютерной томографии, а также провести изотопный анализ зубов животных, что поможет получить данные о жизненных циклах млекопитающих плейстоценового периода.

Микробиологические исследования палеомикрофлоры, в том числе для исключения особо опасных инфекций, будут проведены якутскими исследователями. А сейчас в Якутске исследуются отложения, в которых были найдены замороженные останки, благодаря чему ученые надеются получить информацию об условиях среды, в которых проходило захоронение.

Радиоуглеродный анализ будет проводиться в Университете г. Гронингена (Нидерланды), молекулярно-генетические исследования ДНК – в США, Франции и Дании, а палинологические (исследования пыльцы) и палеоботанические исследования будут выполнены



в Институте археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск) и Университете г. Амстердама (Нидерланды).

Новые палеогенетические данные, которые будут получены при изучении ДНК бизона и ископаемой лошади, возможно, помогут разрешить некоторые неясные вопросы систематики этих животных. Так, по мнению известного палеонтолога К. К. Флерова (1977), короткорогий бизон, обитавший в конце позднего плейстоцена на северо-востоке Сибири, есть практически не что иное, как современный канадский лесной бизон, которому Флеров присвоил ранг подвида ископаемого бизона. В то же время данные многих исследователей

Тело этой ископаемой лошади было растерзано хищниками, – предположительно, пещерными львами: ее голова и передние ноги были оторваны, а на коже сохранились глубокие следы когтей



по морфологии и генетике современных лесного и прерийного бизонов позволяют рассматривать их как два подвида современного американского бизона.

Что касается другой находки, то якутский палеонтолог П. А. Лазарев (1980) допускал, что северные и восточные расы современной якутской домашней лошади, не подвергавшиеся смешению с другими домашними породами, являются прямыми потомками позднеплейстоценовой ленской лошади. Это мнение, казалось бы, подтверждают данные о том, что еще в начале прошлого века в низовьях Колымы обитали дикие лошади, на которых охотились местные жители (Pflizenmayer, 1939).

Однако до настоящего времени считается, что эти лошади были одичавшими домашними, а современная якутская лошадь генетически близка к некоторым центральноазиатским породам (Тихонов и др., 1998). Морфологическое же сходство древней ленской и домашней якутских лошадей могло явиться следствием сходных адаптаций к суровому климату (Боескоров, 2000).

Пока же факты говорят о том, что плейстоценовые дикие лошади существовали в Восточной Сибири еще 3–4 тыс. лет назад в виде отдельных немногочисленных популяций (Kuznetsova *et al.*, 2001; Boeskorov, 2004). Палеогенетическое исследование юкагирской лошади, возможно, позволит наконец внести ясность в происхождение лошадей на Крайнем Севере Восточной Сибири, в том числе и в отношении домашней якутской лошади.

Таким образом, исследования новых находок уже идут полным ходом в разных странах. Уже к концу нынешнего года ученые ожидают получить комплексные данные, которые позволят нарисовать достаточно полную картину палеоэкологии этих вымерших видов.

Д. б. н. Г. Г. Боескоров, к. б. н. Е. Н. Мащенко, к. б. н. И. Н. Белолобский, к. г.-м. н. М. Д. Томшин (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск)

Полностью сохранившийся замороженный труп ископаемого бизона – редчайшая палеонтологическая находка

Литература

Боескоров Г. Г. и др. Условия существования Максунуохского мамонта // *Наука и образование*. 2006. № 2. С. 56–61.

Юкагирский мамонт / Отв. ред.: Боескоров Г. Г., Тихонов А. Н., Сузуки Н. СПб: Изд-во СПбГУ, 2007. 252 с.

Лазарев П. А. Антропогеновые лошади Якутии. М.: Наука, 1980. 190 с.

В публикации использованы фото Г. Г. Боескорова и Е. Н. Мащенко

Рецепты сотворения МИРА

В. С. ШКОДЗИНСКИЙ

Рецепт дня:

- 75 пинт водорода;
- 23 пинты гелия;
- 1000 галлонов воды;
- пару бочек света;
- фунтик соли.

Все размешать ложкой и дать настояться.
Добавить астероидов и метеоритов по вкусу.
Оживить бокалом красного вина.
Bon Appetit!

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
КАК ОСНОВА
ДЛЯ ВЫЯСНЕНИЯ
ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗЕМЛИ

Как формировалась наша планета из протопланетного газопылевого диска, окружавшего молодое Солнце? Какие процессы привели к образованию ее железного ядра? Каково происхождение Луны? Подкрепляя свою точку зрения геологическими данными, автор предлагает оригинальные гипотезы. Им обосновывается длительное, более 4 млрд лет, существование глобального океана магмы, в котором происходило разделение элементов, входящих в состав земных пород. Автором подчеркивается роль магнитных взаимодействий в протопланетном облаке, которые могли ускорить формирование железосодержащих планетных зародышей. Гетерогенная аккреция этих металлических метеоритов при участии магнитного взаимодействия могла сформировать железное ядро нашей планеты гораздо быстрее, чем это следует из общепринятых теорий фракционирования Земли. Высокая температура в ядре может быть объяснена импактным разогревом в процессе столкновения металлических зародышей

Вид таинственного звездного неба с древнейших времен привлекал внимание людей и заставлял их искать ответы на вопрос – как образовались небесные тела и Земля? Из-за недостатка эмпирических данных первые попытки ответить на него были мистическими и умозрительными. С развитием астрономии появилось все больше фактов и гипотезы становились все более обоснованными.

И сегодня остается много вопросов, связанных с происхождением Земли и планет, однако накопленная человечеством довольно значительная информация о геологическом строении Земли и других небесных тел позволяет говорить о возможности серьезной реконструкции генезиса нашей планеты.

К настоящему времени в результате наблюдений с помощью космического телескопа «Хаббл» открыто множество газопылевых туманностей, в которых зарождаются звезды, а вокруг некоторых из них обнаружены и планеты. Поэтому выдвинутая в XVIII в. Кантом и Лапласом небулярная гипотеза образования Солнечной системы путем гравитационного сжатия газопылевого облака может считаться в значительной мере доказанной. Согласно современным представлениям, рост давления и температуры в центральной части этого облака вызвал протекание в нем реакции образования гелия из водорода, что резко повысило ее температуру и привело к возникновению Солнца. Газопылевое облако в общем случае имело вращательное движение. Частицы с наибольшей скоростью вращения, вследствие влияния центробежной силы, почти не притягивались к центру облака и остались на его периферии. С этим могут быть связаны дискообразная форма остатков облака, и известный парадокс приуроченности 98 % вращательного момента солнечной системы к планетам, несмотря на то, что их масса составляет менее 1 % системы. Давление солнечного излучения обусловило перемещение большинства газов из окрестностей Солнца на окраину протопланетного диска и является причиной большого содержания газов в удаленных планетах – Юпитере, Сатурне, Уране.

В титульной композиции (слева) использовано фото газопылевого протопланетного диска, из которого миллиарды лет назад возникла наша Земля и планеты солнечной системы.
ESO / L. Calçada



ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории петрологии литосферы и кимберлитов Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (Якутск). Сфера научных интересов: петрология магматических и метаморфических пород, космология и планетология. Автор и соавтор около 400 научных публикаций

Ключевые слова: генезис Земли, горячая и гетерогенная аккреция, магматический океан, радиоизотопное датирование.
Key words: genesis of Earth, hot and heterogeneous accretion, magmatic ocean, dating by radioactivity



По какому механизму происходило образование Земли – была ли аккреция холодной или горячей? Какой была интенсивность выделения тепла при аккреции, и как она влияла на скорость остывания формирующейся планеты? Существовал ли в начале образования планеты магматический океан? Или же Земля была холодной и твердой? У обеих точек зрения есть свои сторонники и свои противники

по В. С. Сафронову (Сафронов, 1969). При аккреции за счет преобразования механической энергии в тепловую выделилось около $23,2 \cdot 10^{38}$ эрг, что могло бы нагреть вещество Земли до $36\,000^\circ\text{C}$ и испарить его. Но большая длительность этого процесса, по мнению сторонников гипотезы холодной аккреции, обеспечила рассеивание выделявшегося тепла в космическое пространство. Кроме того, при изучении наиболее древних пород нашей планеты исследователям было удобно предполагать, что самые ранние геологические процессы существенно не отличались от современных (принцип актуализма). Поэтому гипотеза холодной аккреции Земли в настоящее время продолжает оставаться популярной, несмотря на то что она основана главным образом на результатах расчетов динамики слипания частиц под влиянием гравитационных сил и не учитывает роль магнитных сил и многие имеющиеся космохимические, изотопные и геологические данные.

Кроме того, результаты исследований Луны космонавтами во второй половине прошлого столетия пришли в противоречие с гипотезой холодной аккреции, поскольку неожиданно выявили признаки горячего образования этого небесного тела. На Луне отсутствуют хондриты (метеориты, имеющие близкий к Земле состав и содержащие хондры – сферические или эллиптические образования преимущественно силикатного состава). Ее породы имеют магматическое происхождение и очень древний (4,4–3,7 млрд лет) изотопный возраст. В лунных породах наблюдается намного большее, по сравнению с хондритами, содержание химических компонентов (оксидов железа и кремния, редкоземельных элементов), накапливавшихся в остаточных расплавах при кристаллизации магм. Это указывает на существование на ранней стадии эволюции Луны глобального океана магмы и его последующую дифференциацию (фракционирование). Особенно показательным присутствием на Луне слоя анортозитов мощностью 60–100 км. Эти редкие на Земле породы сложены в основном кальциевым алюмосиликатом плагиоклазом и формировались в результате выделения этого минерала из кристаллизующегося расплава. На Луне анортозитовый слой образовался путем всплытия плагиоклаза в магматическом океане глубиной

не менее 1000 км. Таким образом, новейшие данные противоречат гипотезе холодной аккреции планет земной группы и свидетельствуют об их горячем образовании, но дискуссия по этому вопросу еще продолжается.

Нерешенной является и проблема гомогенного или гетерогенного формирования Земли и других планет. По гипотезе гомогенной аккреции предполагается, что состав формировавшегося планеты вещества не изменялся во времени. Силикатные и железные частицы падали одновременно, в дальнейшем они разделялись в земных недрах в результате гравитационной дифференциации и сформировали железное ядро Земли, силикатные мантию и кору. Согласно гипотезе гетерогенной аккреции состав падавшего материала сильно эволюционировал во времени, что обусловило слоистое строение планет. Гипотеза гомогенного образования не нуждается в объяснении причины изменения состава падавшего материала, что объясняет ее популярность среди геологов. Однако, как будет показано ниже, ей противоречат некоторые теоретические, космохимические и геологические данные.

Таким образом, две важнейшие проблемы – холодного или горячего образования Земли и гомогенного или гетерогенного характера аккреции – до сих пор не имеют убедительного решения и нуждаются в проверке геологическими данными.

Была ли Земля при рождении однородной по составу? В случае однородной аккреции дифференциация внутреннего строения Земли происходила исключительно под воздействием высоких температур и давлений в ее недрах. Если же состав частиц, падавших на Землю, менялся со временем из-за происходящих в протопланетном диске процессов, планета с самого начала своего зарождения могла быть неоднородной

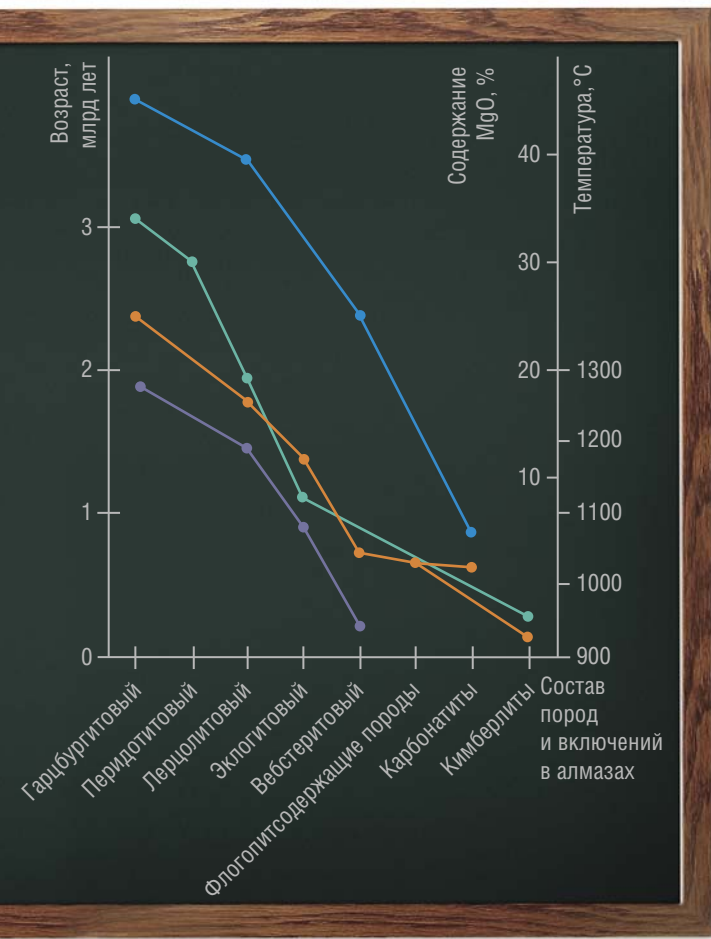
И все-таки она горячая!

Если Земля имеет горячее происхождение, на ней, как на Луне, существовал океан магмы, и происходила его дифференциация путем отделения кристаллизовавшихся минералов, то наиболее крупная земная оболочка – мантия – также должна сохранить признаки этой дифференциации. Судя по хорошо изученным природным дифференцированным магматическим телам, к таким признакам относятся эволюция состава формирующихся пород при остывании магм и существование закономерной возрастной и температурной

Холодное или горячее? Сразу или по порядку?

Существует четыре гипотезы – холодной, горячей, гомогенной и гетерогенной аккреции Земли и других планет (то есть рождения путем объединения частиц протопланетного облака). Согласно первой, формировавшие Землю частицы были холодными (Шмидт, 1962). Их слипание происходило под влиянием гравитационных сил и было очень длительным – более 1 миллиарда по О. Ю. Шмидту и 100 миллионов лет

Звезды и планеты возникли из газопылевых облаков, подобных облаку с зарождающимися звездами в туманности Карина.
NASA, ESA, and M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team (STScI)



Возраст пород коррелирует с температурой их образования и содержанием оксида магния. Указанные на графике породы образовывались последовательно в процессе остывания мантии. Аналогичная корреляция наблюдается для микровключений в алмазах. Приведены сводные данные о возрасте различных пород из ксенолитов в кимберлитах: средний изотопный возраст пород, включений в алмазах, средняя температура образования при 5 ГПа, среднее содержание MgO.
По: (Шкодзинский, 2011)

- Средний изотопный возраст пород
- Средний изотопный возраст включений в алмазах
- Средняя температура образования при 5 ГПа
- Среднее содержание MgO

В глубинах магматического океана под воздействием высокой температуры и давления происходило фракционирование минералов, слагавших молодую Землю. Составляющие ее вещество элементы перераспределялись – часть из них, сродственная железу, выделялась в расплав и уходила в ядро планеты, другая же часть оставалась в силикатном слое расплавленной магмы

последовательности их образования. В остывающих богатых магнием магматических телах в результате осаждения последовательно кристаллизовавшихся различных минералов сначала формировались дуниты (наиболее высокотемпературные породы, очень богатые магнием), затем гарцбургиты (менее магнезиальные породы), далее – лерцолиты (содержащие значительное количество железа) и вебстериты (с повышенным количеством кальция и натрия). Далее расплав эволюционировал по составу до богатого кремнекислотой и щелочами гранитного. В характерных для мантии условиях высокого давления остаточный расплав должен был изменяться до богатого кальцием эклогитового, затем до карбонатитового и кимберлитового, содержащих также много углекислоты. Все перечисленные выше породы слагают ксенолиты (случайно захваченные магмами обломки) мантийных пород в кимберлитах, что подтверждает образование верхней мантии путем глобального магматического фракционирования.

Если мантийные породы сформировались в результате фракционирования, то их изотопный возраст должен уменьшаться в приведенной выше последовательности

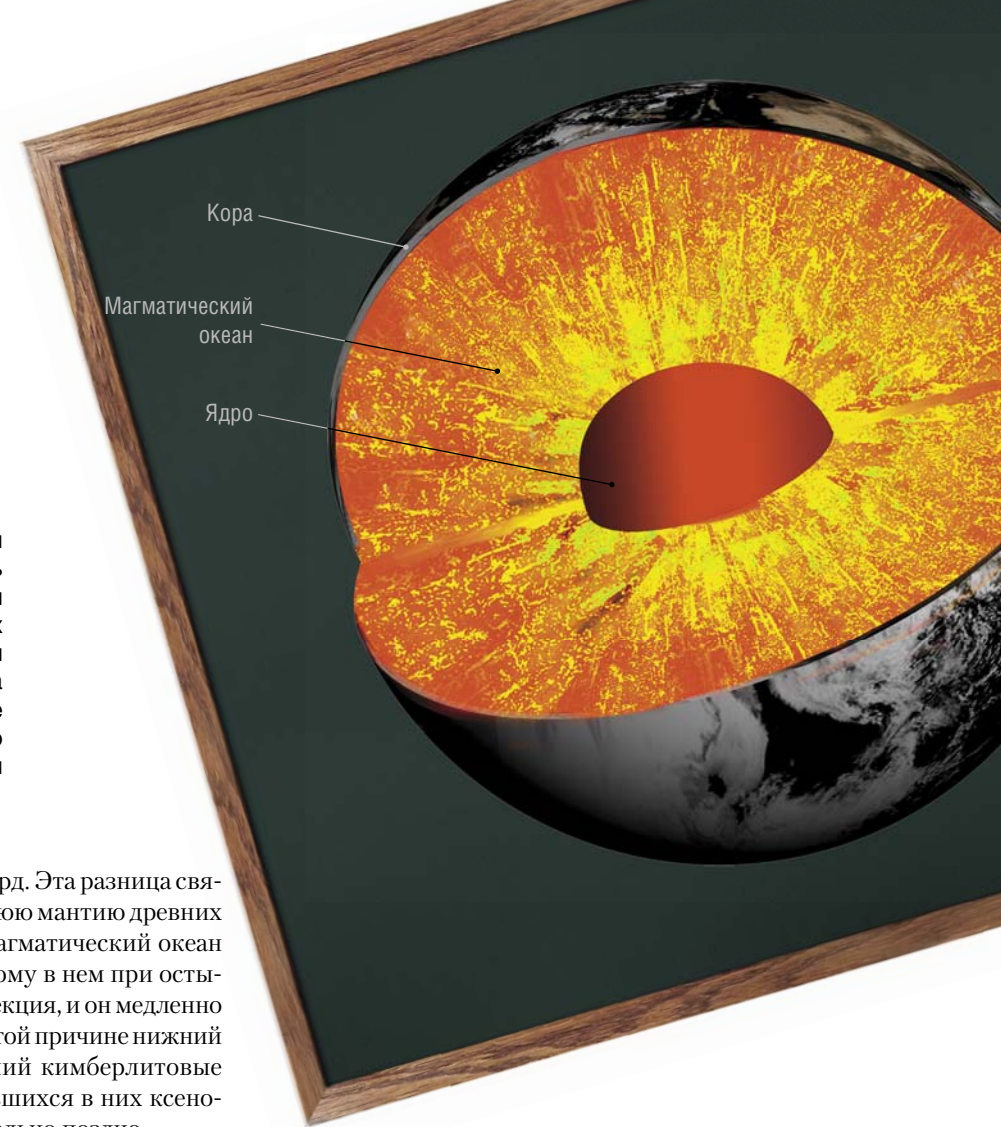
образования. Известные на сегодняшний день данные подтверждают эту гипотезу. Средний изотопный возраст оказался равным для дунитов + гарцбургитов – 2,325 млрд лет; для лерцолитов – 1,777 млрд; для вебстеритов – 0,713 млрд. Возникшие из остаточных расплавов эклогиты имеют средний возраст 1,407 млрд лет; карбонатиты – 0,688 млрд лет; кимберлиты – 0,236 млрд лет. Это согласуется с полученным средним возрастом включений в кристаллизовавшихся в процессе фракционирования алмазах: 3,03 млрд лет для гарцбургитовых по составу; 2,777 млрд – для перидотитовых (нерасчлененных гарцбургитовых + лерцолитовых); 1,966 млрд – для лерцолитовых; 1,123 – для эклогитовых и 0,357 – для кимберлитовых. Обращает на себя внимание чаще всего несколько более древний возраст включений в алмазах по сравнению с возрастом одноименных пород. Такое различие вполне закономерно и обусловлено защитной ролью прочнейшего алмазного вещества, предохранявшего самые ранние минералы от частичного растворения наиболее неравновесным с ними поздним остаточным расплавом. Земля имеет возраст около 4,65 млрд лет, а наиболее древние вклю-

В процессе эволюции Земли первым образовалось металлическое ядро путем слипания намагниченных железных частиц. Силикатная мантия и кристаллическая кора возникли позже в процессе фракционирования глобального океана магмы

чения в алмазах – в среднем 3,03 млрд. Эта разница связана с тем, что образовавший верхнюю мантию древних континентов постаккреционный магматический океан был расслоенным по составу. Поэтому в нем при остывании не возникла обширная конвекция, и он медленно кристаллизовался сверху вниз. По этой причине нижний слой этого океана, сформировавший кимберлитовые расплавы и большинство содержащихся в них ксенолитов, начал затвердевать сравнительно поздно.

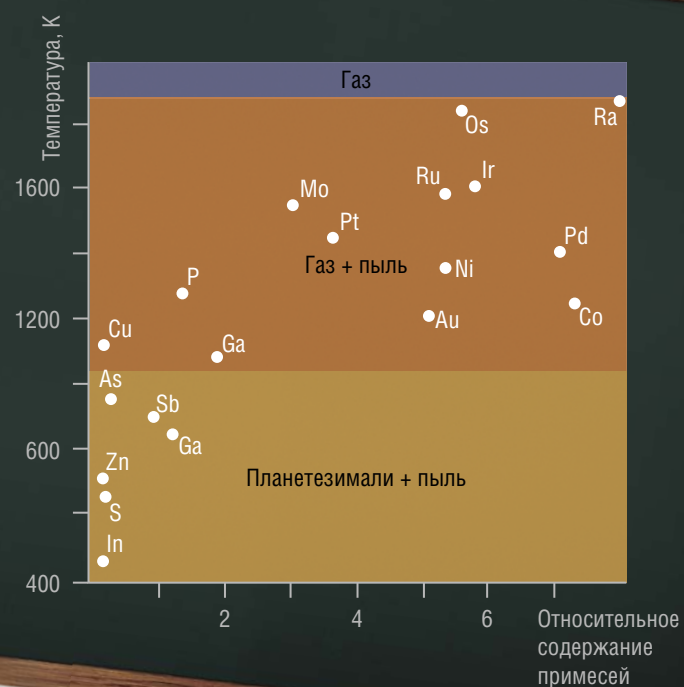
Если породы мантийных ксенолитов в кимберлитах являются продуктом магматического фракционирования, то температура формирования их минералов должна снижаться от гарцбургитов к эклогитам и далее к вебстеритам. В настоящее время существует ряд оценочных условий кристаллизации мантийных пород. Обобщая данные различных авторов, можно заключить, что при достаточно большом давлении, 5 ГПа (на глубине около 150 км), температура образования указанных пород составляла 1275, 1190, 1075 и 950 °C соответственно. То есть, средняя температура кристаллизации действительно понижалась от ранних дифференциатов к поздним в полном соответствии с последовательностью образования этих пород в процессе магматического фракционирования.

При фракционировании в остаточных расплавах резко понижалось содержание окиси магния, вследствие выноса ее кристаллизовавшимися минералами. Поэтому количество ее должно сильно уменьшаться от ранних дифференциатов к поздним. Действительно, среднее содержание MgO в гарцбургитах со средним возрастом 2,325 млрд лет составляет 45,0 %, в лерцолитах с возрастом 1,777 млрд лет – 39,6 %, в вебстеритах



с возрастом 0,730 млрд лет – 25,5 %, в карбонатитах с возрастом 0,65 млрд лет – 4,0 %.

Таким образом, приведенные результаты исследований однозначно свидетельствуют о формировании литосферы древних платформ (наиболее жесткой и холодной их части толщиной до 300 км) путем глобального магматического фракционирования, протекавшего в течение всей истории Земли. Этот вывод полностью согласуется с полученными ранее результатами расчетов, по которым фракционирование земного постаккреционного магматического океана продолжалось более 4 млрд лет. Гипотезу горячего образования Земли также подтверждают многочисленные признаки остывания мантии (повсеместное замещение высокотемпературных минералов низкотемпературными в ксенолитах из кимберлитов) и земной коры (постепенная смена пластических деформаций коры хрупкими). Повышенное содержание в поздних алмазах азота и легкого изотопа углерода указывает на накопление этих компонентов в остаточных расплавах при глубинном фракционировании. Отсутствие в земной коре пород древнее 4 млрд лет и следов завершившей аккрецию массовой



Если ядро Земли сформировалось путем выделения железа из однородного по составу вещества, то оно должно было содержать меньше радиоактивных элементов, чем мантия. Поэтому его разогрев путем радиоактивного распада был менее интенсивен и температура в ядре должна быть ниже температуры мантии. Однако это не так, и, следовательно, гипотеза гомогенной аккреции противоречива

Нормированное к углистым хондритам среднее содержание в железных метеоритах примесей резко понижается с уменьшением их температуры конденсации.
По: (Шкодзинский, 2003)

метеоритной бомбардировки можно объяснить тем, что приповерхностные части Земли длительное время находились в расплавленном состоянии. Кроме того, тот факт, что современный тепловой поток из недр планеты значительно превышает (в 5–10 раз) величину возможного радиогенного тепловыделения, указывает на большие запасы первичного тепла в земных недрах.

Признаки гетерогенной аккреции Земли

Наиболее крупным достижением геологической науки прошлого столетия является получение убедительных доказательств существования грандиозных перемещений литосферных плит. В результате этого дробились и раздвигались континенты, появлялись и исчезали океаны, возникали горные сооружения и глубокие впадины, происходили извержения вулканов и формировались магматические и рудные провинции. Причиной огромных перемещений плит является существование в мантии восходящих потоков (плюмов) вещества, подогретого земным ядром. Из этого следует, что ядро должно быть горячее мантии и между ними существует температурный перепад. Последний обнаружен геофизическими исследованиями (Bukowinski, 1999), величина его оценена в 700–3000 К.

Однако причина скачка температуры на границе мантии и ядра и очень высокой температуры последнего совершенно не находит объяснения с позиций господствующей в геологии гипотезы гомогенной аккреции Земли. При гомогенном формировании планеты железные и силикатные частицы первоначально были перемешаны в земных недрах, имели одинаковую температуру и должны были выпасть одновременно. В дальнейшем силикатный материал разогревался в результате радиогенного тепловыделения. Железо, судя по составу метеоритов и вынесенных из земного ядра крупных блоков железа в некоторых базальтах, содержит на 2–3 порядка меньше радиоактивных элементов, чем мантийные породы. Поэтому оно не могло разогреваться, и температура ядра могла бы быть даже меньше, чем мантии. Следовательно, в последней не возникла бы тепловая конвекция. В связи с неясностью природы конвекции и некоторых других явлений, многие зарубежные исследователи отрицают существование плюмов, и в настоящее время за рубежом происходит дискуссия под лозунгом «А есть ли мантийные плюмы?» (Иванов, 2006). Но представления об их существовании настолько хорошо согласуются с геологическими данными, что следует искать другую причину возникших затруднений. Скорее всего, противоречия возникают из-за того, что гипотеза гомогенной аккреции ошибочна.



Согласно гипотезе мегаимпакта, Луна образовалась после соударения Земли с небесным телом, по размерам сопоставимым с Марсом, из выброшенных на орбиту пород

Наличие магнитного взаимодействия между ферромагнитными частицами протопланетного диска могло привести к ускоренному формированию в нем крупных тел, состоящих преимущественно из железа. Эти железные частицы и объекты могли впоследствии сформировать и ядро Земли по механизму гетерогенной аккреции

Эта гипотеза обычно не обосновывается эмпирическими данными. Между тем, еще в 1967 г. Харрис и Тозер показали, что скорость объединения намагниченных в магнитном поле Солнца железных частиц в двадцать тысяч раз выше скорости их слипания под воздействием гравитационного притяжения. Железные частицы очень быстро объединялись под влиянием магнитных сил после остывания в протопланетном диске ниже температуры Кюри (1043 К), при которой железо приобретает намагниченность. Это полностью подтверждается очень низким содержанием в главных типах железных метеоритов примеси элементов с низкой температурой конденсации, что свидетельствует о формировании их родительских тел диаметром в сотни километров при высокой температуре диска (порядка 1000 К, то есть сразу после достижения температуры Кюри для железа). После достижения этой температуры конденсировавшиеся в протопланетном диске элементы почти перестали растворяться в железе метеоритов, что указывает на объединение железных частиц к этому времени в крупные тела. На основании этих данных ряд исследователей пришли к заключению, что железные ядра планет земной группы сформировались раньше силикатных мантий и, следовательно, аккреция была гетерогенной.

Возникший в результате выделения энергии ударений импактный разогрев при формировании ядра путем объединения крупных тел железа был

на несколько порядков больше, чем при последующей медленной аккреции сантиметровых – метровых силикатных частиц и формировании мантии, так как при слипании крупных тел резко уменьшалась доля импактного тепловыделения, расходовавшаяся на излучение. Это полностью объясняет возникновение скачка температуры при переходе от ядра к мантии и существование в последней тепловой конвекции.

Таким образом, образование Земли происходило путем горячей и гетерогенной аккреции. Первым сформировалось ее горячее железное ядро в результате быстрого слипания железных конденсатов протопланетного диска под влиянием главным образом магнитных сил. Затем под воздействием значительного гравитационного поля ядра притягивались силикатные частицы, которые плавилась в результате импактного тепловыделения и сформировали глобальный океан магмы. По мере аккреции его нижняя часть кристаллизовалась под влиянием роста давления новообразованных верхних частей. Осаждавшиеся кристаллы и захороненные в них расплавы сформировали более холодные, чем ядро, породы нижней мантии, а остаточные расплавы обогащали океан расплавофильными компонентами. Вследствие участия магнитных сил в аккреции Земля сформировалась значительно быстрее, чем предполагалось О. Ю. Шмидтом, что согласуется с некоторыми новейшими оценками длительности ее образования около 10 млн лет (Шкодзинский, 2003). После прекращения аккреции магматический океан имел глубину в среднем около 240 км. Из богатой кремнекислотой верхней его части сформировалось большинство пород континентальной кристаллической коры, а из средней и нижней части – породы верхней мантии древних платформ. Из ранних малоглубинных остаточных расплавов возникли характерные для платформ древние гранитоиды, из поздних – карбонатиты и кимберлиты.

КОММЕНТАРИЙ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

В работе В. С. Шкодзинского рассматривается оригинальная теория образования Земли, основанная на идее о том, что магнитные взаимодействия могли привести к быстрому формированию металлического ядра из железных метеоритов. Гипотеза гетерогенной аккреции действительно становится наиболее распространенной гипотезой образования Земли, но несколько не в том варианте, который предполагает автор. Считается вероятным, что формирование Земли началось с накопления более тяжелого и восстановленного материала, а продолжалось путем аккреции более окисленного материала, богатого летучими компонентами. Быстрое накопление металлического железа благодаря магнитным взаимодействиям маловероятно. Магнитное поле Земли появилось по мере роста жидкого железного ядра и возникновения в нем интенсивной конвекции, и усилилось около 3,3 млрд лет назад после выделения внутреннего твердого ядра.

Большинство исследователей признает существование «магматического океана» в верхней части мантии толщиной около 700 км на ранней стадии Земли. Но вопрос о его длительном существовании из-за отсутствия в нем конвекции является спорным. В настоящее время в частично расплавленной астеносфере (1–5 % расплава на глубине 100–400 км) существует интенсивная конвекция. Астеносфера, судя по изотопным данным, существует более 3 млрд лет. Тектоника плит и восходящие от границы ядро-мантия мантийные плюмы, существуют, по крайней мере, с позднего архея (т. е. последние 3 млрд лет), что тоже говорит в пользу существования конвекции в мантии. Поэтому «расчеты, по которым фракционирование земного постаккреционного магматического океана продолжалось более 4 млрд лет», выглядят неубедительно.

Академик Н. Л. Добрецов

Постоянный подогрев мантии земным ядром обусловил образование в ней сильно наклоненных на запад (в связи с воздействием силы Кориолиса) потоков горячего вещества, которые приводят к высокой современной тектонической и магматической активности Земли. Очень небольшая масса ядра Луны и поэтому небольшие запасы тепла в ее недрах являются причиной прекращения на ней магматических процессов около 3,1 млрд лет назад.

Анализ геологических данных вполне определенно свидетельствует об ошибочности гипотезы холодного гомогенного образования Земли и о справедливости представлений о формировании ее путем горячей гетерогенной аккреции. Только такое происхождение объясняет многочисленные геологические парадоксы и загадки нашей планеты (Шкодзинский, 2003). Достоинством модели горячей гетерогенной аккреции является основанность ее на анализе конкретных геологических и космохимических данных, что позволяет в значительной мере избежать умозрительности, характерной для ранних гипотез. Постепенное накопление фактов не только в астрономии, но и в геологии, приближает нас к познанию, казалось бы, самых таинственных процессов далекого прошлого.

Литература

- Войткевич Г. В. Происхождение и химическая эволюция Земли. М.: Наука, 1983. 168 с.
- Иванов А. В. Обойдет ли Россию «великий спор о плюмах»? // Геол. и геофиз. 2006. Т. 47. № 3. С. 417–420.
- Кларк С. П., Турекьян К. К., Гроссман Л. Модель ранней истории Земли // Природа твердой Земли. М.: Мир, 1976. С. 9–22.
- Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М.: Наука, 1969. 244 с.
- Хаин В. Е., Халилов Э. Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная причина. М.: Научный мир, 2009. С. 520.
- Шкодзинский В. С. Природа различного содержания азота в алмазах // Записки РМО. 2011. Ч. СХХХХ. № 6. С. 113–118.
- Шкодзинский В. С. Проблемы глобальной петрологии. Якутск: Сахаполиграфиздат. 2003. 240 с.
- Шмидт О. Ю. Происхождение Земли и планет. М.: Изд. АН СССР, 1962. 132 с.
- Bukowinski M. S. T. Taking the core temperature // Nature. 1999. N 6752. P. 432–433.
- Harris P. G., Tozer D. C. Fractionation of iron in the Solar system // Nature. 1967. V. 215. N 5109. P. 1449–1451.
- Kelly W. R., Larimer J. W. Chemical fractionations in meteorites. VIII. Iron meteorites and the cosmochemical history of the metal phase // Geochim at Cosmochim Acta. 1977. V. 41. N 1. P. 93–112.
- Wasch L. J., Van der Zwaan F. M., Davies G. R. et al. Timing and natural of silica enrichment in the Kaapvaal lithosphere mantle // 9th International Kimberlite Conference. Extended Abstract. 2008. No 91RC-A-00121.



Н. Л. ДОБРЕЦОВ



По ступеням ЭВОЛЮЦИИ

**ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ,
ЛАНДШАФТНОЙ
ОБОЛОЧКИ,
КЛИМАТА
И БИОСФЕРЫ**

Наша планета образовалась из протопланетного газопылевого облака 4,5 миллиарда лет назад. В процессе своего развития Земля остывала, формировалась кора, океаны, атмосфера, изменялись конвективные режимы в мантии. Менялись очертания суши – тектоника плит приводила к образованию и распаду суперконтинентов. Установить особенности этих процессов оказалось возможным с помощью современных методов геологических исследований – анализа химического состава пород, их радиоизотопного датирования. Оказалось, что непрерывное, экспоненциальное остывание планеты приводило к имеющим четкую периодичность процессам – четыре (или более?) существовавших на планете суперконтинента возникали через практически одинаковые промежутки времени

Развитие нашей планеты – от планетного зародыша, сформировавшегося из окружающего Солнце газопылевого облака, до ее современного состояния – прошло ряд важных стадий. Основным фактором, влияющим на изменение внутреннего и внешнего облика Земли, является ее непрерывное остывание после формирования ее 99,9 % массы, а также ступенчато-прогрессивное окисление ее поверхности и приповерхностных оболочек (земной коры, гидросферы, атмосферы). Информацию об этих изменениях можно получить путем сравнения эндогенных и приповерхностных процессов и явлений, а также анализа геологических данных, включающих содержание различных элементов в коре и ядре, радиоизотопный состав пород, результаты палеомагнитных исследований.

Реконструкция исторической картины происходивших с нашей планетой изменений, позволяет лучше понять ее современное состояние, оценить перспективы развития. Эти познания имеют для человечества значение, которое трудно переоценить.

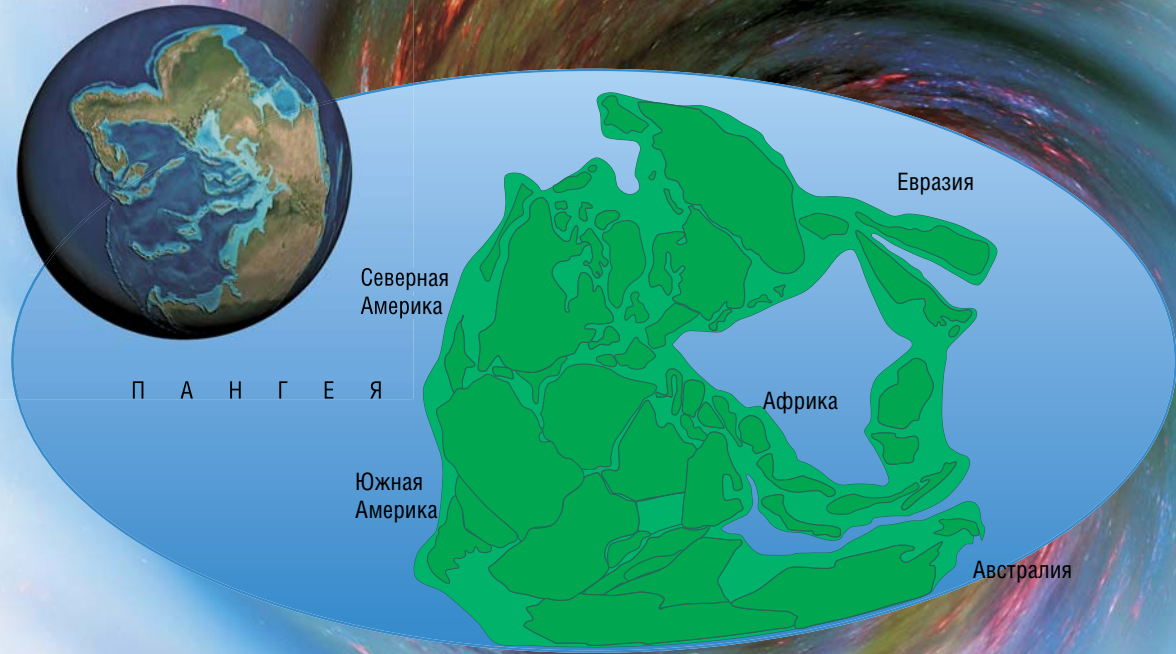
От Пангеи до Пангеи

Современные астрофизические данные говорят о том, что формирование Земли происходило по механизму горячей аккреции. В результате нагрева от падающих планетных зародышей и распада короткоживущих изотопов молодая планета была горячей, разогретой до достаточно высоких температур. В процессе эволюции Земля остывала – уменьшался средний тепловой поток и средняя температура мантии. Современная температура на границе верхней и нижней мантий составляет 2000–2100 °С, а в конце



ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, председатель Объединенного ученого совета наук о Земле РАН, советник РАН Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. Автор и соавтор 720 научных работ. Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»

Ключевые слова: аккреция, эволюция Земли, геологические циклы, конвекция в мантии, субдукция, суперконтиненты, радиоизотопное датирование.
Key words: accretion, Earth evolution, geologic cycles, convection in mantle, subduction, supercontinents, dating by radioactivity



Конвекционные процессы в мантии Земли приводят в движение литосферные плиты. Благодаря этому с определенной периодичностью происходит сборка и распад суперконтинентов. На рисунке приведена схематическая карта последнего из суперконтинентов – Пангеи

архей – начале протерозоя (2,6–2,7 млрд. лет назад) достигала 2400 °С. Затем это тепло рассеивалось в виде излучения в окружающее космическое пространство, запас тепловой энергии в недрах уменьшался.

Данные о температуре и тепловом потоке из мантии позволяют оценить интенсивность конвекции в нижней мантии. Происходившие при остывании Земли изменения теплового потока даже при практически постоянном температурном перепаде между верхней и нижней мантиями, по современным оценкам, могут приводить к существенным, на 2–3 порядка, изменениям вязкости магмы и числа Рэлея, характеризующего конвективные процессы. В архее из-за высоких значений теплового потока конвекция в нижней мантии была гораздо более интенсивной и близка к конвекции в современной астеносфере, восходящие потоки могли затрагивать и всю мантию в целом, и приводить к общемантийной конвекции, а в итоге – к «тектонике малых плит».

Изменения в режимах конвекции, и соответственно, в тектонике плит, приводили к сборке и распаду суперконтинентов. Этот процесс имел периодический характер. Наиболее крупный цикл (600–700 млн лет) можно установить прежде всего по периодам от «Пангеи до Пангеи» и максимумам изотопных датировок

РОЖДЕНИЕ ПЛАНЕТ

Планеты Солнечной системы образовались из газопылевого протопланетного диска, окружавшего Солнце. Механизм зарождения крупных объектов из газопылевого облака называется аккрецией, он изучен пока недостаточно. В течение первых сотен тысяч лет благодаря гравитационным взаимодействиям и столкновениям частиц облака сформировались объекты размерами до 10 км. Моделирование этих процессов при помощи систем многих тел показывает, что есть определенный размер планетных зародышей (планетезималей), после превышения которого их размеры начинают быстро расти. Это происходит из-за того, что наиболее крупные объекты теряют кинетическую энергию за счет внутреннего трения во взаимном гравитационном взаимодействии, а траектории более мелких фокусируются на них. Такой механизм роста зародышей планет называется олигархическим, и этот процесс, по оценкам специалистов, длился несколько миллионов лет. После завершения фазы олигархического роста сформировалось несколько десятков объектов с массами порядка нескольких процентов от массы Земли. В дальнейшем скорость их роста уменьшалась экспоненциально и финальная стадия аккреции была достаточно медленной, ее характерное время для Земли составляло десятки миллионов лет. Эта стадия сопровождалась как вылетом зародышей за пределы Солнечной системы в результате рассеяния на крупных телах, так и серией мощных аккреционных столкновений с все более увеличивающимися в размерах объектами (Wood, 2011)

Данные по химическому составу пород, содержащих повышенное количество выносимых из глубины планеты элементов, доказывают, что формирование суперконтинентов проходило вследствие конвективных процессов в мантии. Кривые содержания изотопов стронция в карбонатных осадках, калиево-гранитов и аркозовых песчаников показывают возрастание их количества в интервале от 3000 до 2000–1700 млн лет и периодические колебания в дальнейшем. Главные максимумы отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, как и максимумы изотопных датировок основных пород, формирующих кору, коррелируют со временем существования суперконтинентов (Condie, 2005)

геологических пород. Достоверно установлена пермская Пангея IV, «собрание» которой достигло максимума в конце девона – начале карбона, 360 млн лет назад. Распад Пангеи IV начался в триасе около 230 млн лет назад. Суперконтинент III – Родиния – существовал в интервале 1100–920 млн лет. Предшествующий суперконтинент II, называемый Карелий (или Колумбий), существовал около 1800–1650 млн лет. Доказательство существования Суперконтинента I пока еще весьма проблематично, интервал между ярко выраженными максимумами 2680 и 1880 млн лет равен 800 млн лет. Таким образом, оценки варьируют от 690 (645) до 800 млн лет, условно можно принять интервал от Пангеи до Пангеи 700 млн лет.

Непрерывное остывание Земли приводило к перестройке режимов конвекции в мантии. Удивительно то, что приблизительно экспоненциальное падение теплового потока из недр имело следствием хорошо прослеживающуюся периодичность формирования суперконтинентов, а следовательно, изменения в конвекции при этом носили так же периодический характер.

Сначала Земля была без Луны...

История Земли как планеты началась 4,55–4,44 млрд лет назад. Длительность первоначального роста и выделения железного ядра решающим образом зависела от динамической вязкости мантии, которая могла изменяться во время аккреции на два-три порядка. Поэтому оценки длительности этого этапа отличаются также на два порядка – от 10 млн лет до 1 млрд лет. Уточнить временные рамки позволили измерения содержания элементов гафния и вольфрама в земных

и лунных породах, из которых следует, что земное ядро формировалось практически одновременно с ростом планеты, а именно – в первые 30–50 млн лет ее существования.

Истории образования Земли и ее состояния после аккреции сильно зависит от механизма формирования Луны. Согласно гипотезе мегаимпакта, Луна образовалась примерно 4,48 млрд лет назад в результате удара гипотетической планеты размером с Марс о практически уже сформировавшуюся Землю. К этому времени верхняя оболочка Земли представляла магматический океан глубиной 600–1000 км с тонкой, до 10 км, базальтовой корой, регулярно взламываемой метеоритами. В результате удара часть коры и мантии Земли и столкнувшегося с ней тела были выброшены на околоземную орбиту, и из них впоследствии сформировалась Луна. Однако, по мнению некоторых исследователей, гипотеза мегаимпакта маловероятна, так как сильный удар массивного небесного тела должен был привести к эксцентриситету орбиты Земли, на порядок превышающему современный.

Согласно другой гипотезе, Луна могла образоваться за счет серии более мелких импактов тел, размером сопоставимых с ней самой. В этой модели Земля могла обладать небольшим по мощности (<300 км) магматическим океаном. Но и в этом случае, как и в случае одного большого удара, трудно объяснить сохранение выброшенного материала на околоземной орбите и вторичную аккрецию из него Луны.

Наконец, серьезные геохимические и космохимические обоснования имеет гипотеза одновременного образования Земли и Луны в виде двойной планеты.

Все эти три гипотезы различаются по степени возможного возмущения состояния Земли. Мегаимпакт мог привести к наибольшим возмущениям в составе мантии, высокой степени дифференциации во внутреннем строении Земли и ее температуры. Гипотеза одновременного образования Земли и Луны наоборот, предполагает невозмущенное развитие процессов внутренней эволюции обоих небесных тел.

Главным образом за счет падения комет к концу этапа аккреции была создана горячая атмосфера, состоявшая в основном из водорода и метана. В пересчете на воду ее масса могла составлять от 2 до 10 масс современной гидросферы. Но к рубежу 4,4 млрд лет ранняя атмосфера была потеряна за счет интенсивной диссипации водорода в космос, и началось ее окисление. Окисление атмосферы, поверхности Земли, а затем коры и верхней мантии продолжалось и в последующие этапы.

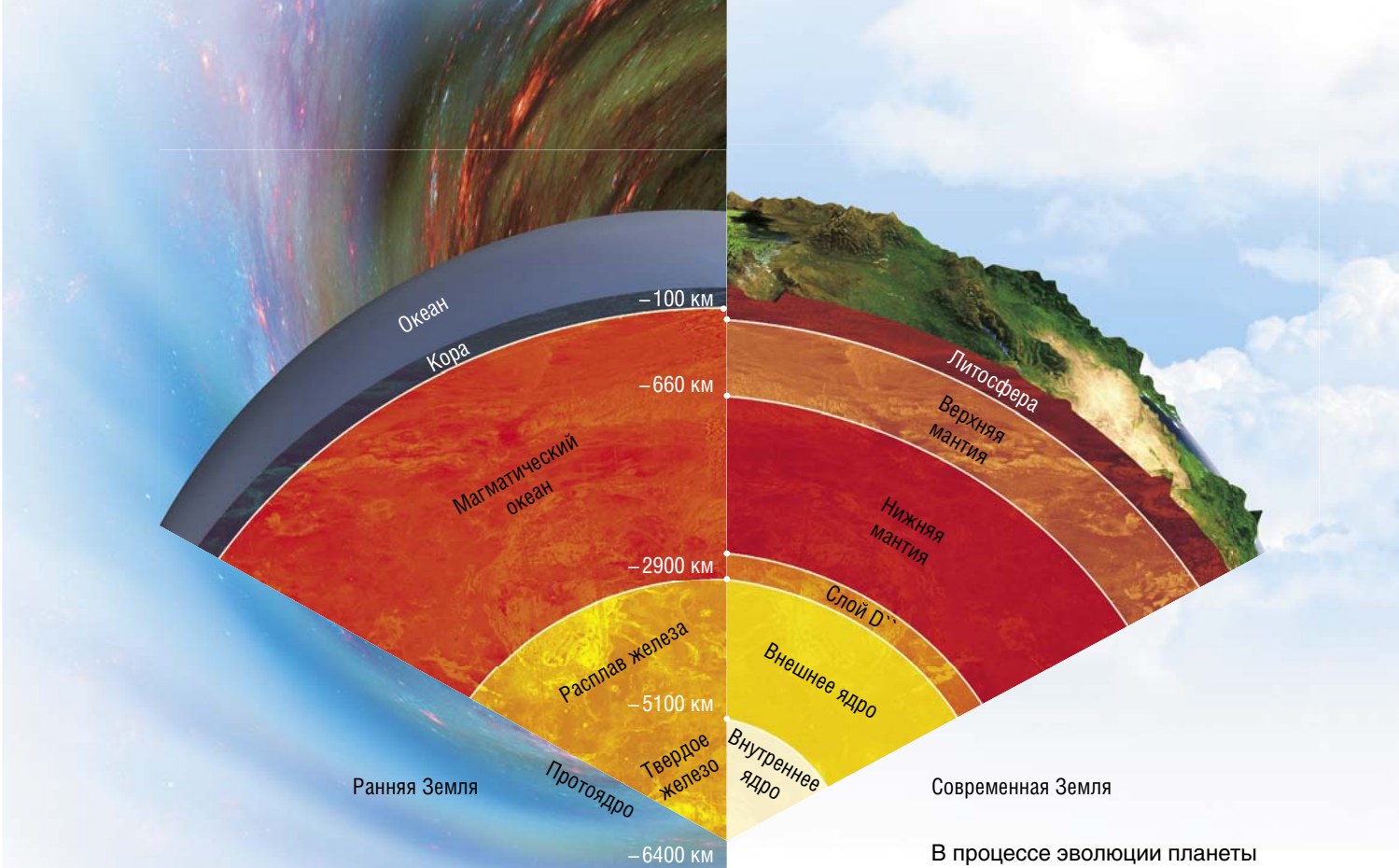
ГАФНИЙ И ВОЛЬФРАМ – МЕТКИ ВРЕМЕНИ

Для определения времени формирования металлического ядра Земли исследуют содержание радиоактивного изотопа ^{182}Hf и продукта его распада ^{182}W в геологических породах. Оба этих элемента тугоплавки, они присутствуют в одной и той же относительной распространенности в планете перед выделением ядра. Со временем благодаря распаду гафния-182 доля вольфрама-182 возрастает относительно других устойчивых, но нерадиоактивных вольфрамовых изотопов, таких как ^{184}W .

В процессе выделения железа из слагавших Землю пород растворимый в железе сидерофильный вольфрам большей частью уходит в ядро, а литофильный гафний остаётся целиком в силикатном слое. Поэтому в этом слое соотношение $^{182}\text{W}/^{184}\text{W}$ из-за радиоактивного распада гафния будет больше, чем это было в первоначальной

смеси, и его количество зависит от того, сколько этого элемента еще не успело распасться на момент вымывания вольфрама из породы в ядро. Измеряя соотношение изотопов вольфрама в коре и сравнивая эти данные с содержанием их в хондритах – метеорных телах, сформировавшихся в протопланетном диске во времена, предшествующие началу образования Земли, – можно определить разницу в возрасте между хондритами и древними породами и тем самым датировать время формирования ядра (Wood, 2011)

Так, по представлению художника Николая Ковалева, выглядела Земля в начале своей геологической истории



Хадей – юная Земля, океаны без жизни

Интервал от конца аккреции, 4,44 млрд лет, до 3,9 млрд лет носит название Хадей, или догеологическая стадия, поскольку геологическая летопись этого периода практически не сохранилась. В это время происходило наиболее интенсивное остывание планеты, исчезновение магматического океана, существовавшего в объеме, близком к верхней мантии, и разделение мантии на верхнюю и нижнюю. Начала формироваться кора, в том числе континентального типа, образовался Мировой океан на поверхности. Свидетельством существования в это время континентальной коры и океана считаются окатанные (что свидетельствует о наличии воды в жидком состоянии) цирконы с возрастом 4,0–4,2 млрд лет, а также отдельные цирконы, датированные временем 4,4 млрд лет, выделенные из более молодых осадочных пород. В этих цирконах в некоторых случаях были найдены микровключения алмазов, для которых микроструктура и распределения тория и ванадия сходны с импактными алмазами на Луне. Этот факт говорит об их происхождении в результате интенсивной бомбардировки крупными метеоритами поверхности Земли.

Время существования магматического океана и его глубина, как указано выше, зависит от механизма образования Луны и интенсивности метеоритной

Современная Земля

В процессе эволюции планеты изменялось ее внутреннее строение. Мантия разделилась на два резервуара, различающихся режимами и характером конвекции. Оформилось ядро, в нем выделилась твердая часть; появились твердые силикатные слои – кора и антикора, а также твердый слой толщиной до 100 километров, отделяющий нижнюю мантию от жидкого ядра

бомбардировки и колеблется в значительных пределах, но после 4,0 млрд лет наличие магматического океана маловероятно. Тем не менее, В. С. Шкодзинский (2009) считает формирование магматического океана мощностью до 1000 км важнейшим событием в истории Земли и допускает наличие реликтов этого океана довольно длительное время (см. статью В. С. Шкодзинского в этом выпуске журнала на стр. 12).

Алмазный рубеж

В течение архея, 3,9–2,7 млрд лет назад, остывание мантии и ядра продолжалось, из-за чего появилось внутреннее ядро Земли и заметно, в 1,5–2 раза, усилилась напряженность магнитного поля. Отражением остывания верхних оболочек явилось массовое образование алмазов – 90 % древних алмазов, выносимых

ГЛУБОКИЙ МАГМАТИЧЕСКИЙ ОКЕАН

Существует две основных модели, описывающих различные сценарии формирования Земли и образования ее металлического ядра. Первая модель предполагает, что падавшие на Землю метеориты и планетезимали разрушались и гомогенно распределялись в земной коре. Железо и сопутствующие ему элементы затем выделялись из материала коры и мантии под воздействием высокого давления и температуры и опускались в ядро. Согласно другой модели, уже сформировавшиеся ядра бомбардирующих Землю планетных зародышей объединялись с ядром Земли, а их силикатная часть – с земной корой.

В пользу модели гомогенной аккреции говорят данные по содержанию никеля и кобальта в земной коре – наблюдающееся их соотношение возможно только в том случае, если разделение вещества на сидерофилы (сродственные железу) и литофилы (сродственные материалу коры) происходило при достаточно больших давлениях, которые могли существовать только в уже полностью сформировавшейся Земле на глубине 700 км.

Эти факты позволили сформулировать модель ранней Земли, называемую моделью «глубокого магматического океана». Глубокий слой расплавленной породы возникает в результате разогрева от столкновений, и, на самых ранних стадиях, в результате распада короткоживущих радионуклидов. Прибывающие планетезимали и планетные зародыши распадаются на составляющие части, их металлические компоненты падают через расплавленный силикат, непрерывно взаимодействуя с ним, пока не достигают глубины, на которой силикат находится в твердом состоянии. Металл накапливается на этой глубине до тех пор, пока его количество не станет достаточным, чтобы продавить твердый слой силиката. Затем металл быстро стекает в ядро огромными каплями примерно 100 км в диаметре (Wood, 2011)

кимберлитами, появилось в интервале 3,2–2,9 млрд лет. Это связано, во-первых, с утолщением литосферы и, как следствие, возрастанием давления, создаваемого в твердых недрах весом пород – к середине архея толщина литосферы (кора плюс твердая мантия) превысила мощность 100 км. До этого времени толщина литосферы была 50 км и меньше. Примерно такую же толщину имеет современная океаническая литосфера. Во-вторых, происходило заметное окисление мантии, появились карбонатиты и растворы, обогащенные CO₂. Они реагировали с метаном, выделяя углерод, из кото-

рого впоследствии формировались алмазы. Таким образом, «алмазный рубеж» является важным показателем изменения теплового режима и окисления мантии.

В целом к концу архея сформировалось от 20 до 50 % объема континентальной коры.

От «тектоники малых плит» к «тектонике плюмов» и суперконтинентам

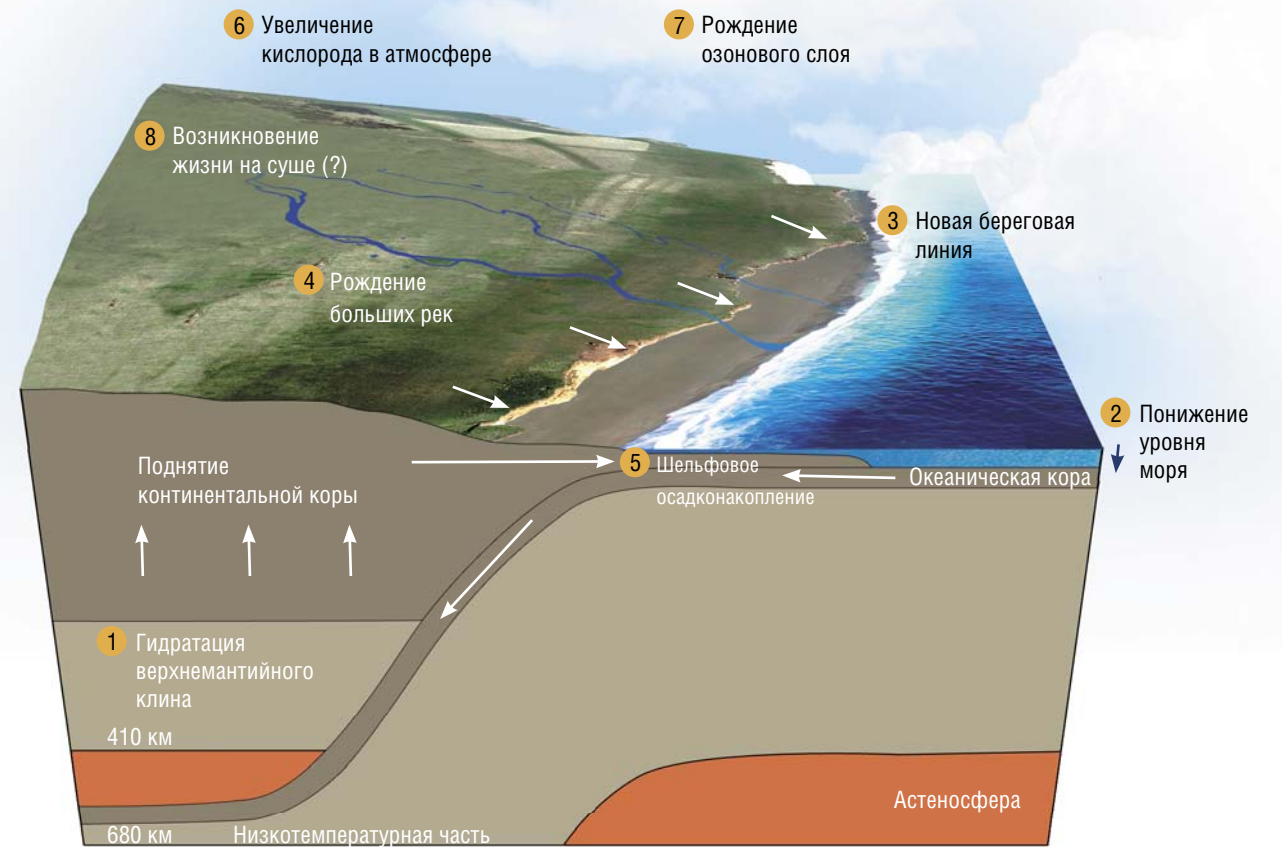
Границе архея и протерозоя, отстоящей от наших дней на 2,6–2,7 млрд лет, соответствует один из главных максимумов формирования гранитов и щелочных пород, слагающих кору. Вероятно, в это же время образовался первый суперконтинент, но для установления его контуров и даже самого факта его существования не хватает геологических и палеомагнитных данных. До этого времени режим конвекции в мантии был близок к турбулентному и преобладала «тектоника малых плит». Весь архей, по мнению некоторых исследователей, режим конвекции в мантии был двуслойным, хотя, по другим оценкам, он мог быть скорее хаотичным (высокотурбулентным), но охватывал всю мантию.

В любом случае, на рубеже 2,6–2,7 млрд лет режим конвекции в мантии изменился, и это вызвало вышеописанные, а также и другие крупные последствия.

Из-за смены конвективных режимов появились суперплюмы (восходящие потоки в мантии) и началась «тектоника плюмов». Этому соответствует первый максимум возрастов мантийных пород. Вероятно, режим двуслойной конвекции в верхней и нижней мантии, если он имел место до этого рубежа, сохранился, но он нарушался крупными струями восходящих суперплюмов и крупными каплями плавящейся коры из зон субдукции, которые погружались до ядра. Магматические резервуары нижней и верхней мантии, по геохимическим данным, обособились вновь к 2,0–1,8 млрд лет.

В палеопротерозойский период, 2,6–1,8 млрд лет назад, сформировался основной объем континентальной коры. В конце этого этапа в интервале 1,9–1,7 млрд лет произошли крупнейшие коллизионные процессы тектонических плит, наблюдался второй по величине максимум гранитообразования. В это время произошло формирование суперконтинента, названного «Карелий» или «Колумбий».

Следующие за этим 1,7–0,7 млрд лет назад характеризуются низкой внутренней активностью Земли. В это время произошла перестройка мантийных течений – режим конвекции в мантии изменился от общемантийного к двуслойному, снизилась активность плюмов. В этот же период произошло собиранье и распад третьего суперконтинента – Родинии (от рус. «родить»).



«Мертвая Земля» породила жизнь

Специального внимания заслуживает период около 750 млн лет назад. До рубежа 1 млрд лет все извлекаемые метаморфические породы свидетельствовали о достаточно небольшом давлении, существовавшем при их формировании. Примерная глубина, на которой может наблюдаться такое давление – порядка 40–60 км. Возрастом в 750 млн лет датируются породы, для образования которых необходимо более высокое давление. Это свидетельствует об увеличении глубины их формирования, 150–200 км, или, что то же самое, о снижении температуры при той же самой глубине. Например, для глубины 100 км температура могла снизиться от 1000 до 400–600 °С.

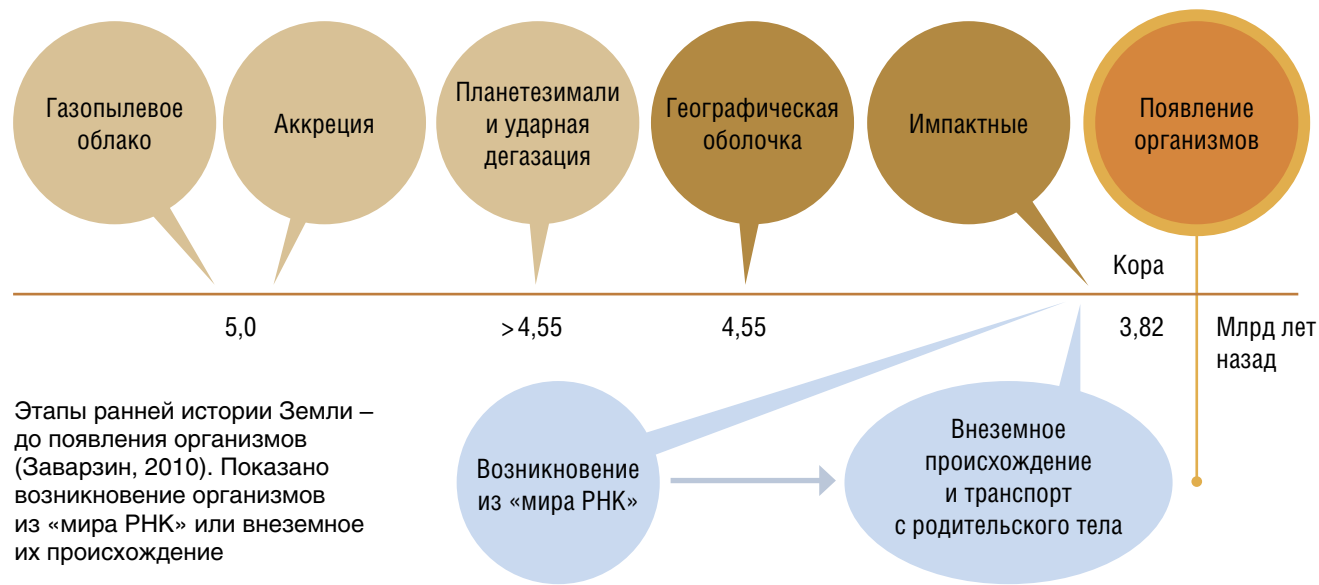
Это возможно только в том случае, если скорость субдукции (погружения коры в мантию) заметно повысилась и достигла или превысила современную максимальную скорость субдукции (около 10 см/год).

Ускорение процессов субдукции привело к возможности «затаскивать» водные минералы в мантию в зонах субдукции, что привело к гидратации и разбуханию верхнемантийного клина под континентом, из-за чего произошел подъем континентов и понижение уровня

моря. Важнейшим процессом, способствовавшим появлению на Земле жизни, является субдукция, или погружение твердой земной коры обратно в мантию. При субдукции осадочный материал и водные минералы заносятся под континенты, их высота над уровнем моря растет из-за «разбухания» мантии, что создает предпосылки для формирования систем рек, делает ландшафт более неоднородным, создавая условия для формирования устойчивых экосистем. По: (Maruyama, Liou, 2005; Superplumes, 2007)

моря. Вследствие повышения разности высот континентов и моря появились системы больших рек, выносимые ими породы расширили шельф, усилилось шельфовое осадконакопление, произошло усиление фотосинтеза и увеличение концентрации углеводов.

Фотосинтез привел к увеличению содержания кислорода в атмосфере, возникновению озонового слоя, защищающего поверхность от жесткого ультрафиолетового излучения, и на Земле создались условия для возникновения жизни на суше.



Перечисленным событиям предшествовало снижение внутренней активности Земли. Этот интервал некоторые авторы (Ш. Маруяма и др.) называют «Мертвая Земля», его особенности объясняются перестройкой конвективных течений и плюмов в мантии. Изменение мантийных течений привело к охлаждению поверхности Земли, и в интервале 750–600 млн лет проявились частые и крупные оледенения, из них, возможно, наиболее крупное – около 640 млн лет назад. Для состояния Земли в этот период применяют определение «snowball Earth» – замерзшая Земля, похожая на снежный шар. Первые гипотезы о возможности такого состояния родились из геохимических данных и палеомагнитных определений ледниковых отложений, которые в ряде случаев оказывались вблизи палеоэкватора. Здесь еще много неясностей и противоречий, поэтому приведенный сценарий глобальных оледенений – один из возможных.

Усиление субдукции в интервале 750–600 млн лет дало вспышку островодужного магматизма, сопровождавшегося масштабными извержениями вулканов, массовое, но очень изменчивое поступление CO₂ в атмосферу, ее дополнительное окисление и потепление климата. Начиная с 600 млн лет и эндогенные системы, и климат, и биосфера развиваются по сценариям, сходным с современными.

Таким образом, имеющее непрерывный характер остывание и окисление Земли приводило к ряду разнообразных процессов. Менялись конвективные режимы в мантии, из-за чего собирались и распались суперконтиненты. Росла толщина литосферы и земной коры, остывала поверхность, формировались

моря и, соответственно, – осадочные породы. Кристаллизовавшаяся кора погружалась в зонах субдукции в мантию, поднимая находящиеся над ней континенты. Постепенно геологический характер планеты становился все более спокойным, снижалась средняя температура поверхности, возникли условия для жизни и эволюции живых форм.

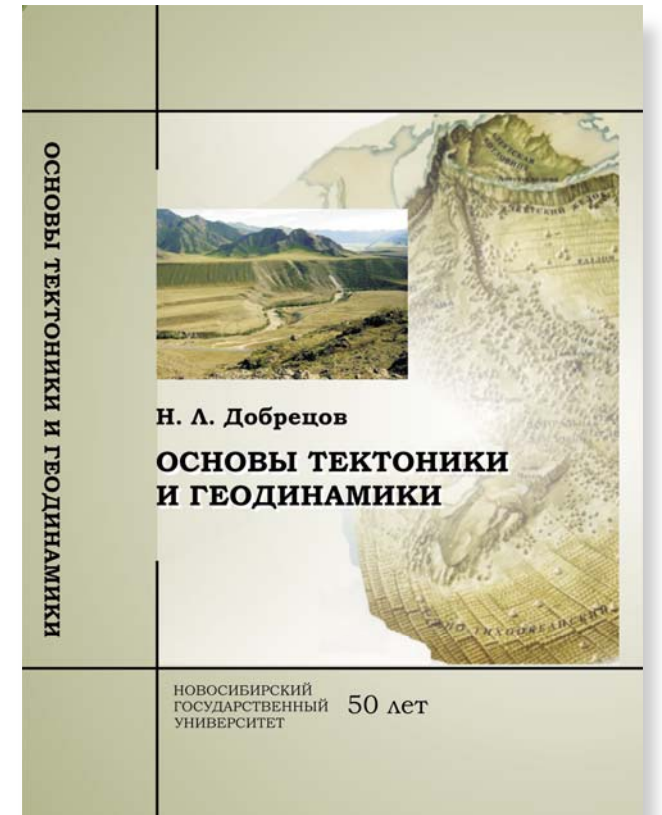
Несмотря на то, что остывание Земли носило экспоненциальный характер, происходящие в ней тектонические и геологические процессы демонстрируют периодичность. Существует корреляция между химическим составом, возрастом пород, глубиной и температурой их образования, временем накопления осадков и рядом других показателей. Это указывает на то, что происходившие на планете процессы взаимосвязаны – геологические изменения поверхности являются следствием взаимодействия внутренних и внешних факторов, таких как активность конвекции в мантии, солнечная активность и др. Это говорит о целостности происходящих на нашей планете явлений, о том, что Земля является единым организмом, живущим и развивающимся в своих различных аспектах согласованным образом.

Литература
 Добрецов Н.Л. Основы тектоники и геодинамики / учебное пособие / Новосибирск: НГУ, 2011.
 Wood B. The formation and differentiation of Earth // Physics Today. December 2011. P 40–45.

Монография Николая Леонтьевича Добрецова «Основы тектоники и геодинамики» задумывалась как современный учебник по тектонике и геодинамике для студентов-бакалавров по специальности «геология» к курсу лекций, который читается ее автором на геолого-геофизическом факультете НГУ. Однако по широте и глубине рассмотренных вопросов она, несомненно, полезна и интересна не только для студентов и аспирантов геологических специальностей, но и для специалистов из других областей знаний, связанных с эволюцией нашей планеты.

В этой книге впервые сделана попытка показать причинно-следственные связи глубинного строения, состава, структуры и взаимодействия всех геосфер Земли как основной причины тектонических движений в земной коре и верхней мантии (тектоносфере). В работе на современном научном уровне показаны основные тектонические элементы строения дна мирового океана, островных дуг, платформ и складчатых поясов. При этом в отличие от классических учебников по тектонике и геодинамике большое внимание уделено модельным расчетам, которые позволяют понять причины формирования крупных структур Земли. В частности на основе моделирования конвекции в верхней мантии показана неизбежность формирования трансформных разломов в срединно-океанических хребтах. Модельные вычисления на поверхность высокобарических метаморфических комплексов, в том числе алмазоносных метаморфических пород, установленных в Кокчетавском метаморфическом комплексе в Северном Казахстане. С учетом данных по современной сейсмофотографии проведено теплофизическое моделирование плавления в зоне субдукции, что позволяет объяснять как особенности эволюции островодужного магматизма, так и характер сейсмичности этих очень тектонически активных зон Земли.

В настоящее время активно развивается новая парадигма геологии – глубинная геодинамика, оценивающая природу глобальных процессов с учетом взаимодействия разноглубинных, вплоть до ядра, оболочек Земли. В различных тектонических процессах показано широкое участие плюмов, горячих полей и суперплюмов (Зоненшайн, Кузьмин, 1983; Hoffman, 1997; Flower, 2000; Кузьмин и др., 2001; Ярмолюк, Коваленко и др., 2002; Добрецов, 2003). При этом происходят сложные процессы взаимодействия глубинного мантийного магматизма с корой и литосферной мантией с формированием бимодальных вулканических ассоциаций, габбро-гранитных серий и траппов. Учебной литерату-



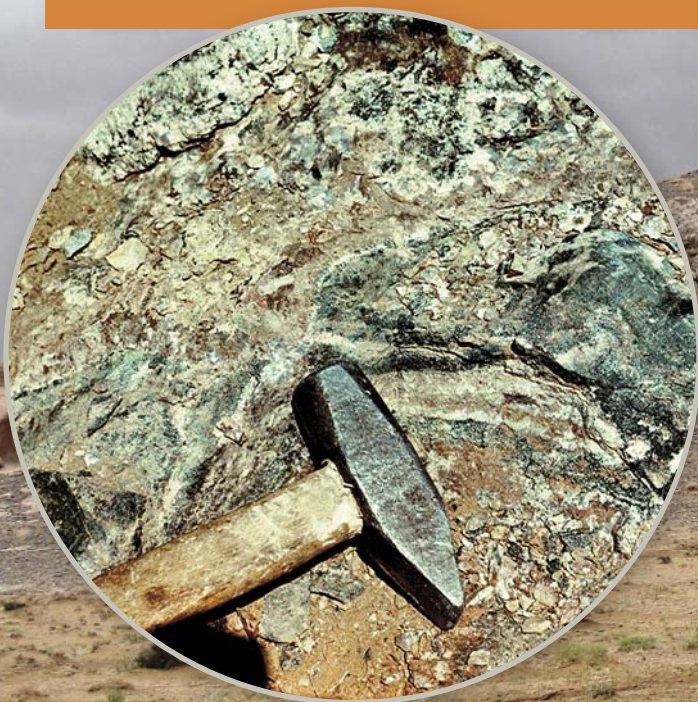
Добрецов Н. Л. Основы тектоники и геодинамики. Учебное пособие / Новосибирский государственный университет, 2011. 492 стр. ISBN 978-5-94356-990-6

ры по данной проблеме практически нет, в то же время в последние годы крупным магматическим провинциям и их металлогении уделяется большое внимание в зарубежных публикациях (Abbott *et al.*, 2002; Ernst *et al.*, 2004). В данной монографии этому разделу глубинной геодинамики уделено большое внимание. При этом приведен не только фактический материал, но и расчеты термохимической модели плюмов различной мощности, отделяющихся от границы ядро – верхняя мантия (слой D''), и их взаимодействия с различными геосферами. В отдельном разделе приведены данные по эволюции биосферы как одной из геосфер Земли. Этот раздел представляет интерес для палеонтологов и биологов.

Заведующий лабораторией петрологии и рудоносности магматических формаций Института геологии и минералогии, профессор, д. г.-м. н. А. Э. Изох

МИНЕРАЛЫ

земные и небесные



Не каждому из геологов посчастливится открыть новый минерал, но если такое открытие случается, оно становится одним из самых волнующих событий в жизни...

В конце 1960-х гг., когда американские космонавты уже побывали на Луне, многие районы Монголии в геологическом отношении все еще оставались «белым пятном». Здесь, в Гоби, на крупнейшем в мире щелочногранитном массиве было открыто большое месторождение циркония. В одном из обнажений гранитов и пегматитов обнаружили цирконосиликат необычного цвета, который оказался новым минералом. В честь первого землянина, ступившего на поверхность другой планеты, этот минерал был назван армстронгитом

Хан-Богдинский щелочногранитный массив (Южная Монголия) имеет площадь около 1,5 тыс. кв. км. На снимках из космоса (вверху) хорошо различимы две кольцевые структуры – признак глубинного происхождения массива. В 1968 г. здесь был обнаружен новый минерал из семейства цирконосиликатов, названный в честь американского космонавта Н. Армстронга. Внизу – Армстронгитовая горка и коренной выход пегматита, на котором видны вкрапления армстронгита коричневого цвета

Ключевые слова: щелочные породы, агапитовые граниты, цирконосиликаты, армстронгит.
Key words: alkaline rocks, agpaitic granites, complex zirconium silicate minerals, armstrongite



ВЛАДЫКИН Николай Васильевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор более 350 научных публикаций, из них 5 монографий

Каждый из минералов – достаточно однородных твердых тел, образующихся в результате природных физико-химических процессов, – характеризуется индивидуальным химическим составом и структурой, т. е. порядком взаимного расположения атомов. Именно по этим данным идентифицируют минерал, в то время как физические показатели, такие как цвет, твердость, плотность, прозрачность и др., могут быть очень близкими у разных минералов.

На сегодня известно более 4,5 тыс. разнообразных минералов, причем триста из них были открыты лишь за последние двадцать лет. Новый минерал можно обнаружить лишь в результате детального исследования образцов горных пород. В наши дни для этого используют такое современное оборудование, как *микрозонд* – рентгеновский анализатор, обычно выполненный на базе сканирующего электронного микроскопа. Генерируемый микрозондом электронный пучок направляется на образец – полированную «таблетку», сделанную из исследуемой породы, в результате чего каждый атом в составе образца начинает излучать в характерном для него рентгеновском диапазоне частот.

Таким способом в образце можно определить химический состав различных минеральных фаз и обнаружить те из них, для которых нет известных аналогов. Следующий шаг на «пути к открытию» – определение параметров элементарной ячейки кристалла.



Минералогии (крайний слева – академик И. Д. Рябчиков, справа – академик Л. Н. Когарко, в центре – автор) в хибинском апатитовом карьере. Хибинский щелочной горный массив, расположенный на Кольском п-ве, характеризуется большим геохимическим разнообразием: здесь на сегодняшний день обнаружено уже свыше пятисот минералов.

Конечно, далеко не в любых горных породах можно обнаружить новые минералы. Чаще всего это случается при изучении двух типов пород: руд редких и благородных металлов, а также пород, богатых щелочными минералами.

Щелочная «кладовая»

Особенно богаты щелочными минералами так называемые *аптаитовые породы*, в которых щелочных металлов (калия и натрия) больше, чем алюминия (т. е. отношение суммарного числа атомов К и Na к числу атомов Al больше единицы).

Образуются эти породы из магмы соответствующего состава. Сначала кристаллизуется *полевой шпат* либо *нефелин* (число атомов К + Na = Al), а избыточное количество щелочных металлов накапливается в остаточном расплаве. По мере остывания магмы последние участвуют в образовании «ультращелочных» темно-

цветных минералов, а также минералов, содержащих редкие металлы. Каждый редкий элемент в этом случае образует с калием или натрием отдельную минеральную фазу – из-за этого в аптаитовых породах наблюдается большое разнообразие таких минералов.

Свой вклад вносит и изменчивость термодинамических условий (давления, температуры, окислительно-восстановительного потенциала и т. д.), которая характерна для процесса кристаллизации магматического расплава. В результате с участием одного и того же редкого элемента может образоваться несколько минеральных фаз с разной структурой и соотношением химических элементов. Иногда эти фазы кристаллизуются сами по себе, а иногда – замещая более ранние образования. Поэтому неудивительно, что в аптаитовых породах часто обнаруживаются ранее неизвестные минералы, которые могут встречаться там не только в микро-, но и в макроколичествах.

К тому же «аптаитовые минералы» часто имеют привлекательную форму и окраску кристаллов. Красочная картина, которую можно наблюдать под микроскопом при изучении их образцов, обусловлена тем, что ионы редких элементов, как правило, имеют большой размер и, встраиваясь в кристаллическую решетку, «искажают» ее. В результате оптические свойства кристалла различаются по разным направлениям, что и приводит к появлению яркой интерференционной окраски.

Массивы щелочных пород с красивыми и разнообразными минералами, как правило, «прячутся» в труднодоступных местах – за Полярным Кругом и в тайге, в высокогорье и в пустыне. К тому же многие из них расположены на границе между регионами, а в пограничных областях геологическая съемка часто проводится менее тщательно, поэтому многие потенциально интересные геологические объекты могут быть не замечены.

Все вышесказанное объясняет, почему тот же Кольский полуостров, где расположено три гигантских аптаитовых массива – Хибины, Ловозеро и Кейвский массив щелочных гранитов, являются настоящим Клондайком для любителей красивых и редких минералов, и почему там до сих пор каждый год случаются минералогические открытия.

Здесь нужно добавить, что далеко не каждый геолог может разобраться в сложном минеральном составе щелочных пород – хорошие специалисты в этой области, как говорят, «от Бога». Если обычному геологу достаточно уметь определять «на глаз» или под микроскопом около сотни минералов, то специалисту по щелочным породам – не менее пятисот. И когда он встречается с незнакомым минералом, тот с большой вероятностью может оказаться неизвестным науке.



Бурпалинский щелочной горный массив, расположенный в Северном Прибайкалье на высоте 2,5–3,0 тыс. м, очень труднодоступен. Здесь был обнаружен ряд минералов из семейства цирконосиликатов, включая циркон, эвдиалит, бурпалит, эльпидит и т. д.

Справа вверху – крупные (до 7 см) красно-коричневые выделения эльпидита с эгирином. Хан-Богдинский щелочной гранитный массив, МНР

На этой геологической карте Сибирской платформы отмечены уникальные щелочные массивы. Сибирский регион особенно богат на аптаитовые породы: здесь расположено около 70 % отечественных геологических объектов подобного рода. Наиболее интересные из них – Сынныр и Бурпала в Северном Прибайкалье; Мурун, Инагли, и Кондер на Алдане, Арыскан в Саянах; Томтор в Восточном Прианбарье; Гули в Западном Прианбарье



* массивы щелочных гранитов



«Производные» циркония

В агапитовых породах могут образовываться и накапливаться минералы, относящиеся к очень интересному семейству *цирконосилкатов*. Среди них самый распространенный – *циркон* с простой химической формулой $ZrSiO_4$. Кристаллическая решетка этого минерала состоит из тетраэдров SiO_4 , «скрепленных» ионами циркония.

Циркон является наиболее энергетически выгодной минеральной формой редкого металла циркония. Поэтому циркон встречается почти во всех магматических породах, разного химизма и разного возраста, начиная с докембрия. Этот минерал очень устойчив к механическому разрушению, а благодаря большому удельному весу концентрируется в россыпях, откуда его и добывают.

В остаточном магматическом расплаве, из которого кристаллизуется циркон, могут накапливаться тяжелые редкоземельные элементы (а также уран и торий), которые способны устойчиво замещать цирконий в кристаллической структуре минерала. Уран благодаря естественной радиоактивности превращается со временем в свинец, поэтому циркон широко используется в геологии для определения точного возраста породы уран-свинцовым методом.

Самый красивый минерал семейства цирконосилкатов – *эвдиалит*, называемый также *саамская*

или *лопарская кровь*. Содержание циркония в этом сложном цирконосилкате составляет свыше 9 % по весу. Он встречается лишь в тех местах на планете, где сосредоточены самые большие его запасы – например, в Хибинском агапитовом массиве на Кольском полуострове. Там же можно найти и необычной красоты минерал *астрофиллит* – сложный титаносилкат, характерной формой которого являются радиально-лучистые звездчатые розетки и скопления – так называемые «астрофиллитовые солнца».

Геологов всегда интересовали закономерности образования минеральных структур в различных породах в зависимости от химизма магмы. Возьмем, к примеру, Бурпалу – труднодоступный уникальный агапитовый массив, расположенный в Северном Прибайкалье (Владыкин и др., 2001; 2002). В щелочных пегматитах этого массива обнаружено двенадцать цирконосилкатов различного состава и структуры: циркон, эвдиалит, ловенит, бурпалит, эльпидит и др. (Сотникова 2009).

Эвдиалит – редкий и потрясающе красивый минерал – окрашен в различные оттенки красного, малинового, вишневого и фиолетового цвета. Встречается обычно в виде зернистых масс; кристаллы эвдиалита используют для изготовления вставок в ювелирные изделия. На фото – кристаллы эвдиалита в апатитовой руде. Хибинский горный массив, Кольский п-ов

36

Большое количество циркона встречается на Урале – в Вишневогорском и Ильменском горных массивах. По инициативе академика А. Е. Ферсмана там был создан Ильменский минералогический заповедник. В одной из копей (*вверху*) в свое время добывали минерал фергюсонит, который академик В. И. Вернадский отправлял в Париж, где Мария Кюри – будущий дважды нобелевский лауреат и одна из создателей учения о радиоактивности – извлекала из него уран для своих знаменитых опытов

Эти крупные кристаллы циркона были найдены на Кольском полуострове в Ловозерском и Хибинском горных щелочных массивах





«НЕСОВЕРШЕННЫЙ» АЛМАЗ

Циркон образует красивые кристаллы дипирамидальной или призматической формы. Окраска минерала бывает различной, в щелочных породах чаще встречаются кристаллы коричневатого и кофейного цвета.

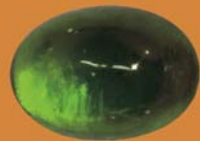
Циркон химически очень стоек и не растворяется ни в каких кислотах. Он обладает значительной плотностью и твердостью, а также редкими оптическими свойствами: его параметры двойного лучепреломления – почти как у алмаза! Ювелирные прозрачные цирконы – гиацинты – встречаются в кимберлитах вместе с алмазами. Но находят такие кристаллы очень редко.

С давних времен прозрачные окрашенные цирконы осветляли с помощью обжига, такие камни впоследствии стали называть «несовершенный алмаз». Бесцветные и слабо окрашенные ограненные гиацинты часто использовались в качестве имитации бриллиантов.

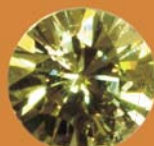
В составе циркона почти половина массы приходится на долю циркония – стратегически важного элемента, который находит широкое применение в промышленности, в том числе электронной и космической. Кроме того, из циркона можно выделять и другие редкие металлы, замещающие цирконий в кристаллической решетке минерала



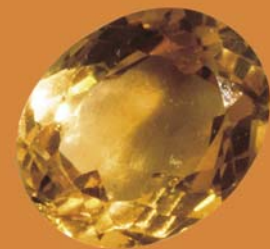
Топаз



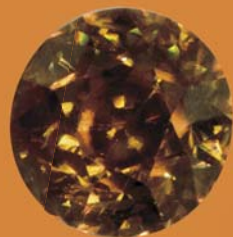
Хромдиопсид



Фианит



Цитрин



Гиацинт



В Катугинском массиве щелочных гранитов (Восточная Сибирь) были обнаружены свидетельства интересного природного процесса – «отсадки» ранних мелких кристаллов циркона в виде полос, в результате которой в породе образуются участки, содержащие до 70 % циркона.

Ограненный кристалл гиацинта – прозрачной красновато-оранжевой разновидности циркона – благодаря яркой окраске и сверкающему, «алмазному» блеску ничуть не уступает по красоте другим драгоценным камням



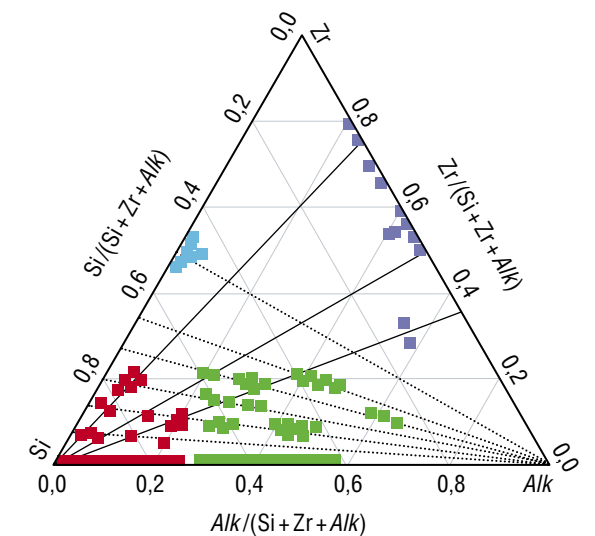
В полевом шпате встречается минерал астрофиллит, иглы которого, выросшие из единого центра кристаллизации, напоминают солнечные лучи. Хибинский горный массив, Кольский п-ов

Помимо цирконосиликатов, там были найдены минералы с содержанием титана, ниобия и редкоземельных элементов.

Чтобы наглядно изобразить связь химического состава редких минералов и вмещающих их пород, можно воспользоваться диаграммой концентрационных соотношений между минералообразующими элементами – цирконием, кремнием и «щелочами» (суммой щелочных и щелочноземельных металлов) на примере Бурпалинского горного массива.

Все двенадцать обнаруженных там цирконосиликатов располагаются на этой диаграмме компактными кластерами. При перемещении от одного кластера к другому по линиям, идущим из щелочного угла, структура силикатной группы сохраняется, изменения происходят лишь в «щелочах» – например, натрий заменяется на кальций.

Интересно отметить, что по мере следования по направлению к кремниевому углу (при этом отношение циркония к «щелочам» остается постоянным) в химической формуле минерала последовательно усложняется главный структурный элемент – силикатная группа: от SiO_4 в цирконе до Si_6O_{15} в эльпидите. Последний минерал из всего семейства цирконосиликатов наиболее кремнекислый, он содержит до 60% SiO_2 . В этом же ряду соизмеримо возрастает и кремнекислотность породы, вмещающей соответствующий цирконосиликат, – от ультраосновных пород через сиениты до гранитов. Эта закономерность говорит о четкой связи кристаллохимии минерала с химизмом магмы, из которой он кристаллизуется (Владыкин, 1979).



- Минералы ультраосновных пород и карбонатитов
- Минералы щелочных гранитов
- Минералы щелочных и нефелиновых сиенитов
- Циркон

Линии стехиометрических соотношений:

- $\text{Zr} : \text{Alk} = \text{const}$
- $\text{Si} : \text{Zr} = \text{const}$

Диаграмма, на которую нанесены данные по относительному числу атомов кремния, циркония и суммарного числа атомов щелочных и щелочноземельных металлов ($\text{Alk} = \text{Na} + \text{K} + \text{Ca}$), содержащихся в цирконосиликатах из Бурпалинского массива, позволяет наглядно классифицировать эти минералы по химическому составу и показать связь между химическим составом минералов и вмещающих их пород. По: (Владыкин, 1979)

«Космические» минералы

Именно в щелочных агпаитовых породах автором был обнаружен новый минерал, впоследствии названный *армстронгитом* в честь американского космонавта Н. Армстронга.

В 1968 г. автор вместе с коллегой, будущим академиком В. И. Коваленко, в качестве участника советско-монгольской геологической экспедиции АН СССР и МНР приехал в Гоби на Хан-Богдинский гранитный массив. Первые же минералогические находки убедили исследователей, что они имеют дело с агпаитовыми щелочными гранитами.

Затем геологи обнаружили присутствие в гранитах ярко-красного цирконосиликата *эльпидита*, размер кристаллов которого доходил до 10 см (Владыкин и др., 1972). Эта находка, важная сама по себе, дала основания для поиска на массиве редкого минерала *гагаринита* – сложного фторида, содержащего тяжелые редкоземельные элементы.

Этот минерал, названный в честь первого космонавта Ю. А. Гагарина, был открыт в 1961 г. в агпаитовых щелочных гранитах в Казахстане. Гагаринит представляет для про-

мышленности большую ценность, однако в породах содержится лишь в небольших количествах. К счастью, параллельно с гагаринитом из магматического расплава кристаллизуется и хорошо видный в породах красный эльпидит, притом в намного больших количествах. Поэтому эльпидит является своего рода «маркером» на гагаринит, так же как находка кристаллов обычно многочисленного пиропса говорит о возможном присутствии алмазов.

Занявшись поисками гагаринита, геологи попутно провели детальное исследование пород массива, обнаружив рудные участки с содержанием эльпидита до 20 %, что говорило о наличии крупного циркониевого месторождения (Коваленко и др., 1977).

На одном из участков (впоследствии названном Армстронгитовой горкой) был обнаружен необычный «эльпидит» – коричневого цвета. Анализы, проведенные позже в Иркутске, показали, что его химическая формула отличается от эльпидита. Дальнейшие детальные исследования минерала убедительно засвидетельствовали, что он является ранее неизвестным крайним кальциевым членом эльпидитового ряда.

Но какое же имя дать новому минералу? Проще всего было назвать его по составу входящих в него элементов, например, кальцирсит, но в то время уже имелся близкий по созвучию кальциртит.

Идея пришла неожиданно. Летом того же года, когда исследователи искали гагаринит, американцы впервые высадились на Луну. Гагарин был первым человеком в космосе, а Армстронг – первым человеком на другой планете. Пейзаж же «моря гранитов» Хан-Богдо с его обветренными, обожженными солнцем серо-коричневыми скалами чем-то напоминал



Гагаринит – редкий минерал, используемый в промышленности для получения тяжелых редкоземельных элементов. Он образуется в щелочных породах вместе с цирконосиликатом эльпидитом. *На фото: вверху* – красноватый гагаринит в биотите, *слева* – гагаринит в белом криалите (Катугинский горный массив, Сибирь), *справа* – желтый гагаринит в кварце (горный массив Эспе, Восточный Казахстан)



На Хан-Богдинском гранитном массиве рудные участки с эльпидитом могут образовывать очень необычные расслоенные жильные тела, состоящие из мелкозернистых гранитов и среднезернистых пегматитов (*справа внизу*) (Владыкин, 1983). Протяженность таких жильных тел составляет до 2 км при толщине до 15 м. И граниты, и пегматиты имеют одинаковый минеральный состав, куда входит до 20 % эльпидита.

Справа вверху – фрагмент расслоенного жильного тела: красный минерал – эльпидит, черный – арфведсонит, белый – микроклин, серый – кварц

лунный. Почему бы тогда не назвать новый минерал армстронгитом?

Сейчас это предложение кажется вполне «невинным», но не надо забывать, что дело происходило в разгар «холодной войны» – противостояния СССР и США! Поэтому история с армстронгитом получила соответствующее духу времени продолжение.

Статья с описанием нового минерала и актом экспертизы с разрешения тогдашнего директора Института геохимии, чл.-корр. Л. В. Таусона, была послана

в международную комиссию на утверждение. Однако против этого решения категорически выступил председатель партбюро на том основании, что уже существует минерал *армолколит*, названный в честь трех американских астронавтов, привезших его с Луны. Вышел строгий приказ – название заменить!

По международным правилам выбор названия для нового минерала является личным делом его первооткрывателя: никто не имеет права запретить то или иное название; другое дело, что его могут не утвердить. Так как описание минерала уже было отправлено, после жарких дебатов Таусон разрешил оставить прежнее название в надежде, что его «все равно не утвердят». Но эти ожидания не оправдались, и на «геологической карте» появился армстронгит!

Армстронгит – редкий минерал. Кроме Хан-Богдо, он был обнаружен только в одном другом месте – на массиве Странж Лайк в Канаде. Однако канадский армстронгит представляет собой мельчайшие зерна, которые удалось проанализировать только с помощью микронда; на Хан-Богдинском же массиве был найден кристалл размером 3×5×7 см!

Такие цирконосиликаты, как армстронгит и эльпидит, являются богатой цирконосодержащей рудой. Их запасы в Хан-Богдинском массиве велики, а в Хибинском массиве много эвдиалита. Нужда в цирконии с каждым годом растет – растут и цены на него. К сожалению, промышленные технологии извлечения циркония из этих силикатов пока не разработаны – руда будущего ждет своих исследователей.

Литература

Белов Н.В. *Очерки по структурной минералогии*. М.: Недра, 1976.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И. и др. *Первая находка эльпидита в Монголии / Вопросы минералогии изверженных пород и руд Вост. Сибири*. Иркутск, 1972. С. 6–14.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И. и др. *Новый силикат кальция и циркония – армстронгит // ДАН СССР*, 1973. Т. 209. № 5. С. 1185–1188.

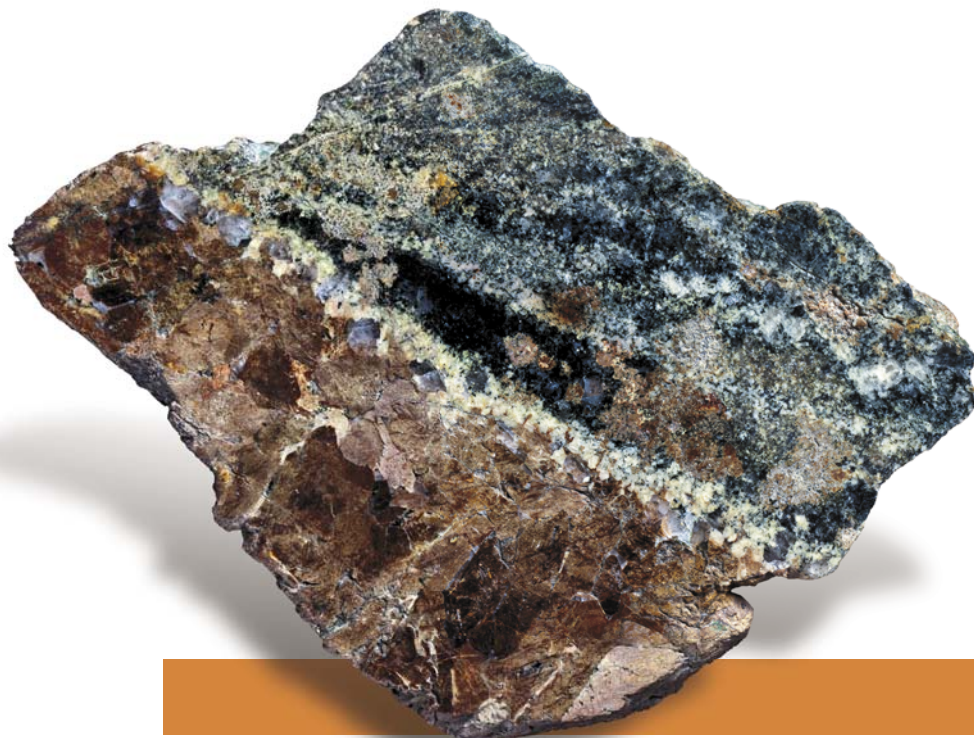
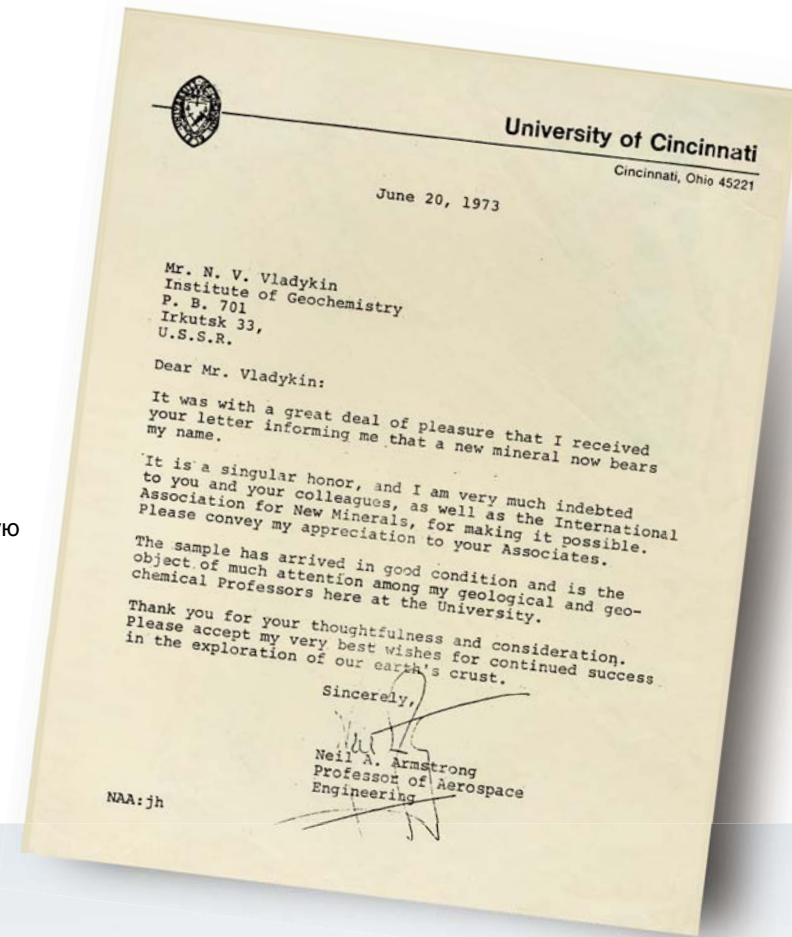
Владыкин Н.В., Коваленко В.И., Дорфман М.Д. *Минералогические и геохимические особенности Хан-Богдинского массива щелочных гранитов*. М.: Наука, 1981.

Владыкин Н.В., Коваленко В.И. *Минералого-геохимические особенности редкометалльных гранитоидов Монголии*. Новосибирск: Наука, 1983.

В публикации использованы фото В. Короткоручко и фото из архива автора

Согласно международным правилам, требуется получить формальное разрешение у человека, в честь которого называют новый минерал. Американский астронавт Н. Армстронг с благодарностью принял предложение российского геолога, дав письменное согласие. Справа – письмо Н. Армстронга, в котором он благодарит за присланный образец минерала, названного в его честь

Обнаруженный среди «лунных пейзажей» моря гранитов Хан-Богдинского массива минерал армстронгит внешне схож с эльпидитом ($\text{Na}_2\text{Zr}[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), но имеет другую химическую формулу ($\text{CaZr}[\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$). Слева – коричневые выделения армстронгита в щелочном граните; справа – самый крупный в мире кристалл армстронгита. Хан-Богдинский массив, МНР



М. БЭКСТРЕМ, Л.-Э. РЕННАР, А.В. КОПТЮГ



ЗАПЧАСТИ ДЛЯ СКЕЛЕТА

Что общего может быть у фигурного печенья, лезвия ледоруба и костного имплантата? Все они могут быть произведены по одной технологии, точнее, с помощью одного из вариантов семейства технологий настолько современных, что они пока не имеют даже устоявшегося названия. В англоязычной литературе для их обозначения обычно используют словосочетание «additive manufacturing», к которому в русском языке наиболее близко подходит знаменитое лемовское «свободное ваяние». Однако в русскоязычной литературе чаще встречается другой термин – «трехмерная печать». Эти технологии, применимые к самым разнообразным материалам – от пищевого сырья до полимеров и твердых сплавов – сегодня начинают использовать в медицине для изготовления «запасных частей» для человеческого тела по «индивидуальному заказу»

Наше тело не перестает нас удивлять: несмотря на его видимую хрупкость по сравнению с неживой материей, оно состоит из достаточно прочных «частей» и весьма успешно противостоит внешним воздействиям. И все же эта прочность не безгранична, поэтому в древних и современных сказках мы встречаемся с такими суперсуществованиями, как Голем или Терминатор, чья «слабая плоть» заменена камнем, металлом или пластмассой.

Начиная с конца прошлого века, извечная мечта о возможности замены неисправных, травмированных или просто устаревших частей телесной оболочки человека начала постепенно претворяться в жизнь благодаря новейшим научно-техническим разработкам в самых разных областях знаний, от биологии и психологии до технического дизайна.

ЦЕНА ПРОТОТИПА

Изделия из пластмасс обычно производят методом экструзии, т. е. выдавливая горячую массу в разборную форму – «трехмерный негатив» детали. И хотя конечная стоимость таких изделий невелика, изготовление форм для отливки стоит очень дорого.

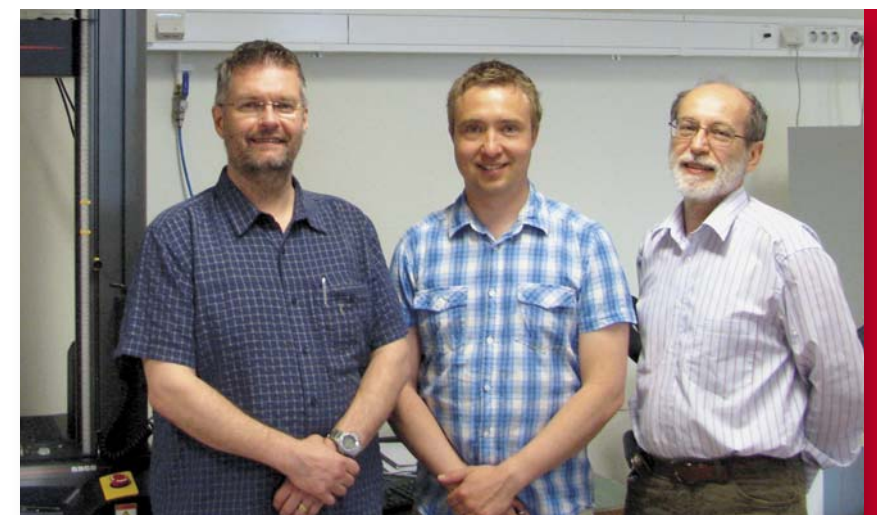
В современном производстве избегать дорогих конструкторских ошибок позволяет использование компьютерных программ для моделирования свойств реальных узлов и элементов конструкций на начальной стадии работы, а также создание предварительных прототипов.

Прототипы больших предметов обычно изготавливают вручную из дерева, гипса, пенопласта или глины. Быстрой и дешевой альтернативой, особенно для прототипирования изделий небольшого размера и сложной геометрической формы, являются технологии «трехмерной печати» пластиком

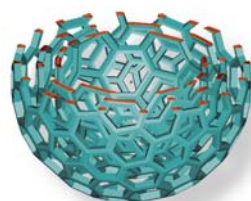
БЭКСТРЕМ Микаэль – доцент Института технологий и устойчивого развития Университета Центральной Швеции (Остерзунд). Автор и соавтор более 35 научных работ

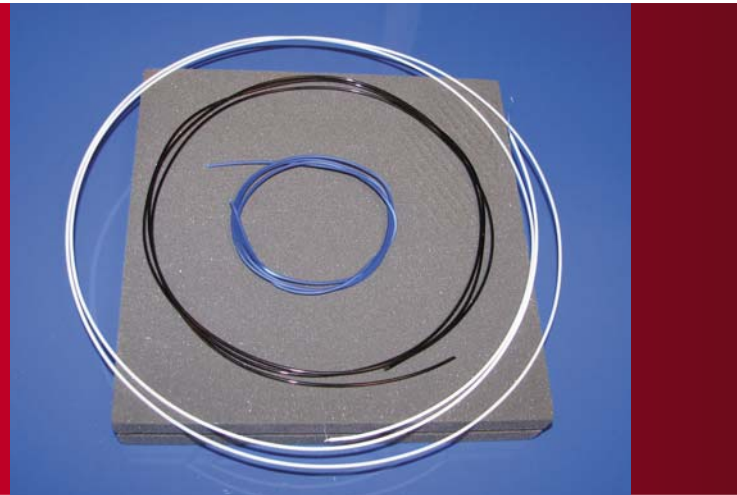
РЕННАР Ларс-Эрик – доцент Института технологий и устойчивого развития Университета Центральной Швеции (Остерзунд). Автор и соавтор более 35 научных работ

КОПТЮГ Андрей Валентинович – кандидат физико-математических наук, доцент Института технологий и устойчивого развития Университета Центральной Швеции (Остерзунд). Автор и соавтор более 50 научных работ и 4 патентов



Ключевые слова: персонализация биомедицинских имплантатов, аддитивные технологии, плавка электронным пучком, металлические стекла.
Key words: individually fit biomedical implants, additive manufacturing, electron beam melting, amorphous metal





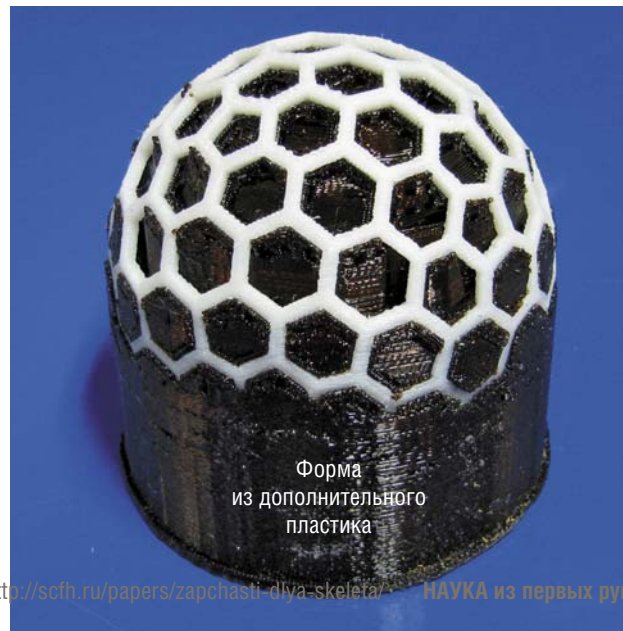
Рабочая (голубая и белая) и поддерживающая (коричневая) пластмасса на стартовой платформе

Принтер *PRODIGY Plus* производства компании *Stratasys* проводит послойную экструзию термопластичного полимера из тонкого подвижного сопла. В камере, где поддерживается высокая температура, находится «стартовая платформа» из вспененного полимера на трех винтовых опорах, на которую укладываются слои полимера. Когда один слой закончен, винтовые опоры сдвигают стартовую платформу и процесс повторяется. Чтобы слои держались в нужном месте и не сползли, их необходимо поддерживать. В *PRODIGY Plus* рабочая головка использует сразу две разных пластмассы: из одной формируется само изделие, из другой – «строительные леса». Рабочий пластик в остывшем состоянии жесткий, а дополнительный способен растворяться в горячей воде, поэтому от него легко избавиться, прогрев изделие в специальной «ванне»

«Свободная форма»

Появившиеся недавно благодаря достижениям в материаловедении и информатике производственные технологии «additive manufacturing», т.е. «изготовление наложением», являются своего рода антитезой классической технологии резки, при которой с заготовки удаляется лишнее. Они особенно эффективны для изготовления изделий сложной формы – именно это свойство акцентирует их шведское название, в переводе звучащее как «технологии свободной формы».

Создание изделия по «аддитивной технологии» начинается с разработки чертежа с помощью современной программы конструкторского дизайна. Следует обратить особое внимание на тот факт, что эти технологии основаны на послойном нанесении рабочего материала, поэтому соответствующая трехмерная компьютерная модель должна быть виртуально «нарезана» на необходимое количество «слоев». Каждый из таких слоев содержит информацию о том, в каком месте нужно расположить рабочий и поддерживающий материалы. Готовый файл-«чертеж» с подробным послойным «меню» посылается на исполнение специальному устройству – назовем его условно *трехмерный принтер*.

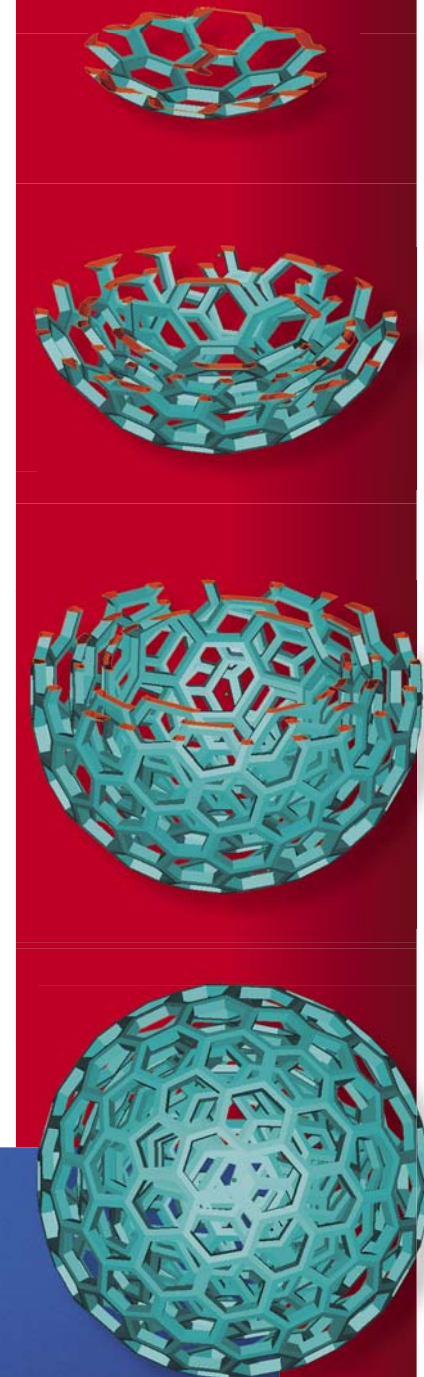
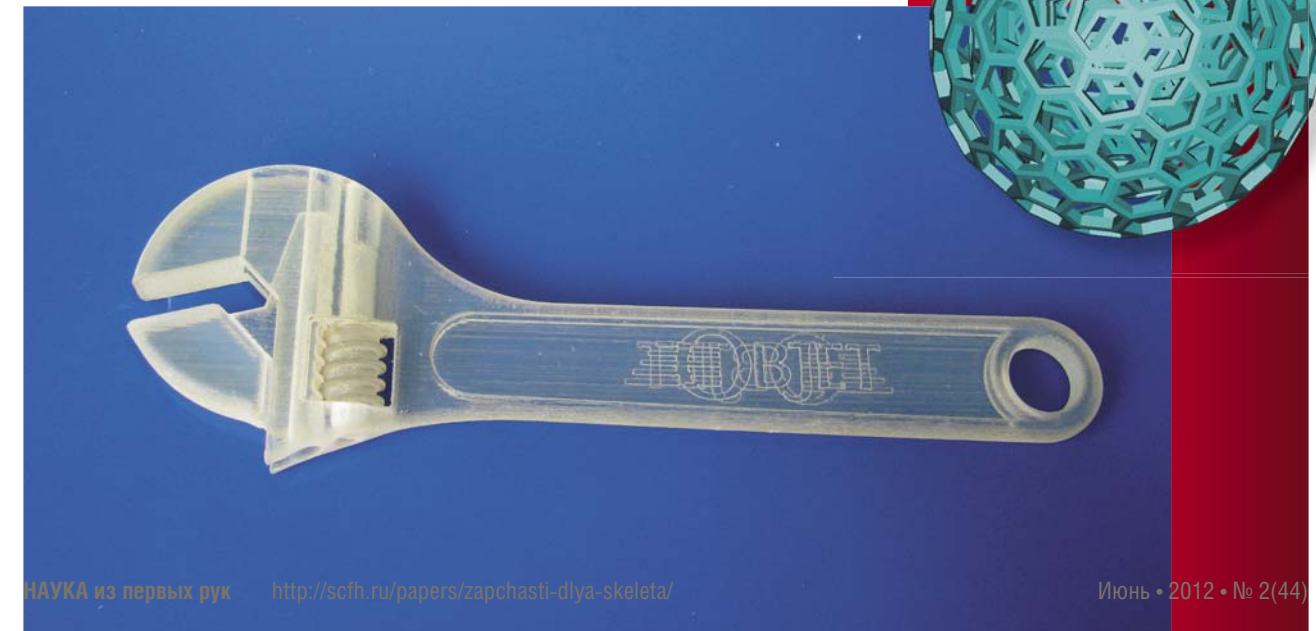


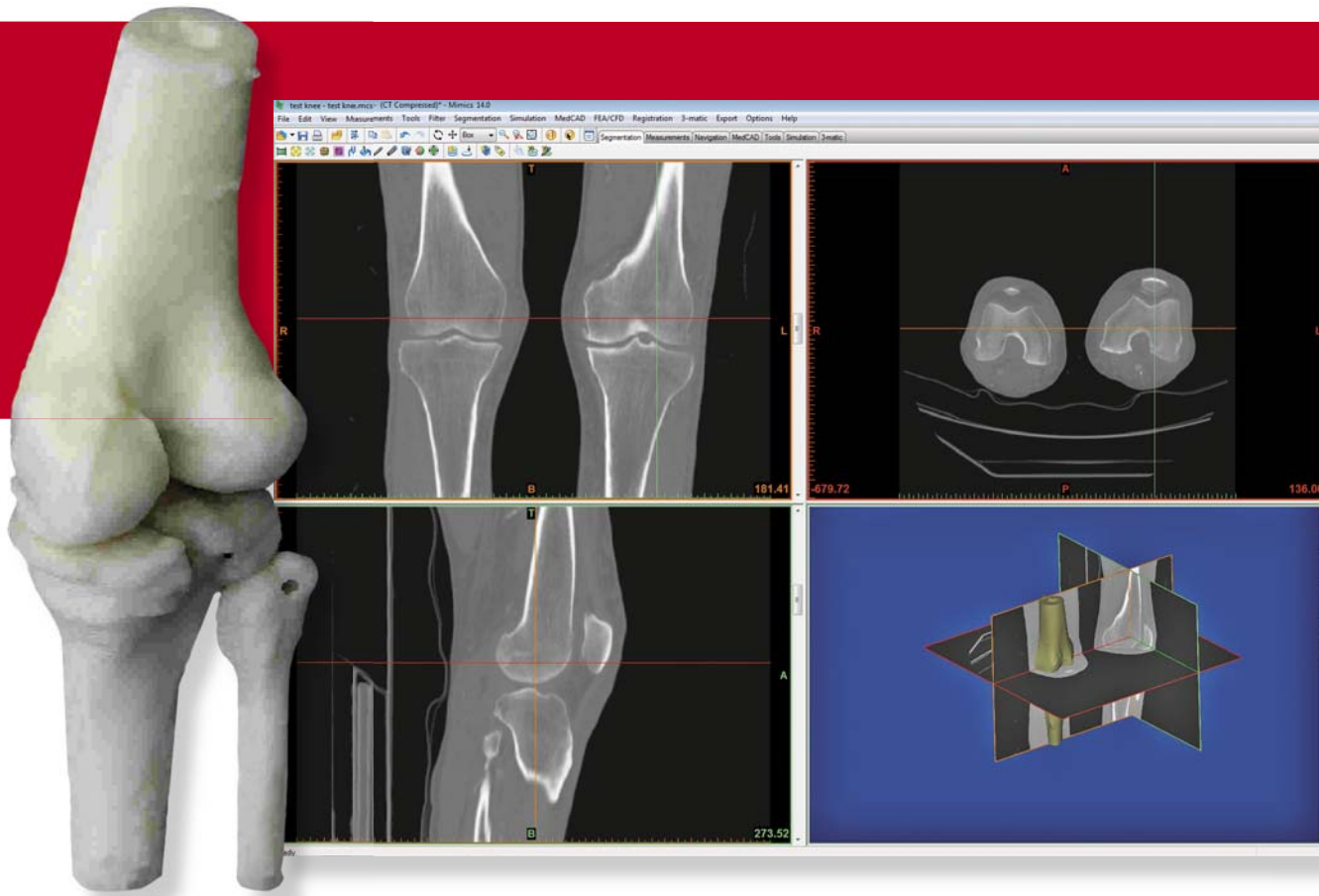
ВСЕ В ОДНОМ

Представьте себе, что вам нужно сделать игрушку наподобие китайских шаров – ажурных сфер, вложенных одна в другую. Китайские мастера издавна вручную вырезали такие изделия из дерева, кости и даже камня. Эта сложная и длительная работа требует высокого мастерства и концентрации внимания резчика: ошибка, особенно на заключительных стадиях процесса, может привести к необратимой порче всего изделия. Изготовление подобных неразборных игрушек обычными современными промышленными методами, по меньшей мере, проблематично. Зато с этой задачей прекрасно справляются аддитивные технологии: трехмерный принтер одновременно наносит концентрические элементы всех шаров на основу из поддерживающего пластика. После завершения процесса все поддерживающие слои удаляются

Форма и структура будущего изделия задаются компьютерным файлом, который аддитивный принтер использует в качестве чертежей. Для подготовки рабочего файла исходная трехмерная модель последовательно «нарезается» на слои подобно апельсину. Слева внизу – одна из стадий изготовления вложенных друг в друга ажурных пластмассовых шаров на принтере *PRODIGY Plus*

Технологии трехмерной печати позволяют создавать изделия не только практически любой формы, но и со свободно движущимися частями. Пример – пластмассовая модель функционирующего 10-сантиметрового разводного ключа, выполненная на трехмерном принтере *OBJET*. Этот принтер печатает не чернилами, а тонкими слоями различных полимеризующихся пластмасс: жесткими и мягкими, прозрачными и разноцветными. Пространственное разрешение *OBJET* составляет 600×600×1600 dpi (42×42×16 мкм). Минимальная толщина наносимого слоя – в несколько раз тоньше человеческого волоса – позволяет изготавливать детали с очень мелкими элементами





Подготовка рабочего файла для аддитивного принтера на основе трехмерных томограмм занимает не больше суток. Еще сутки требуется на то, чтобы изготовить точную предоперационную модель из полимерного материала (слева). Изображения обработаны компьютерной программой «Mimics» компании «Materialise»

Устройства, предназначенные для производства пластмассовых изделий, работают по-разному. В одних исходный гранулированный материал спекается лазерным лучом, в других используется практически настоящая послойная печать, как в обычных струйных принтерах, либо послойная экструзия, т.е. выдавливание горячей массы. Но все такие трехмерные принтеры работают по единому принципу: создавая деталь, они последовательно наносят тонкие слои материала, «печатая» сразу в трех измерениях.

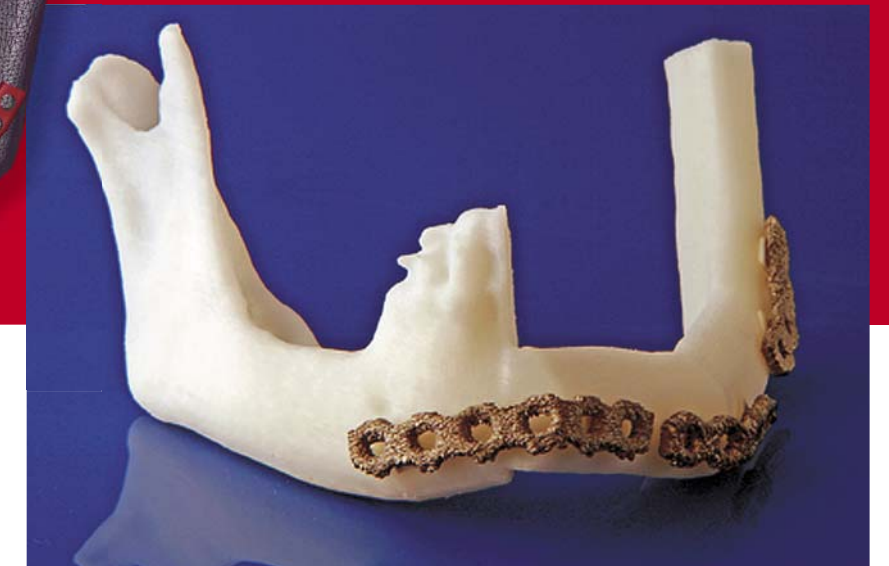
Так, рабочая головка принтера *PRODIGY Plus* – отдаленного родственника хорошо известного «клеевого пистолета», под контролем компьютера перемещается в горизонтальной плоскости и постепенно выдавливает

на стартовую платформу тонкую «змейку» расплавленной пластмассы. Когда слой закончен, винтовые опоры сдвигают стартовую платформу на один шаг вниз, и машина наносит новый слой. Внутри рабочей камеры поддерживается высокая температура, благодаря чему последовательные слои хорошо «сцепляются» друг с другом. Таким образом, слой за слоем, создается изделие заданной формы.

Аддитивные технологии можно использовать при работе не только с пластмассами, но и с металлами и их сплавами.

За 48 часов

Когда инженеры начинают рассуждать о «конструктивной ограниченности» человеческого тела, это, в первую очередь, относится к его «несущим конструкциям» – скелету. Наши кости созданы таким образом, чтобы противостоять значительным статическим и динамическим нагрузкам, одновременно обеспечивая телу необходимую подвижность. Но если нагрузка превысит прочностные возможности кости, она сломается.



На сегодня уже восемь шведских пациентов были прооперированы с использованием костных имплантатов и крепежных пластин, изготовленных группой аддитивных технологий Института развития Университета Центральной Швеции.

Эти иллюстрации демонстрируют сложный случай восстановления нижней челюсти реального пациента, при котором отсутствующие части были собраны из секций, вырезанных из малой берцовой кости.

Слева – упрощенная модель, на которой поверхность кости представлена в виде набора покрывающих ее многоугольников (полигональная аппроксимация контуров).

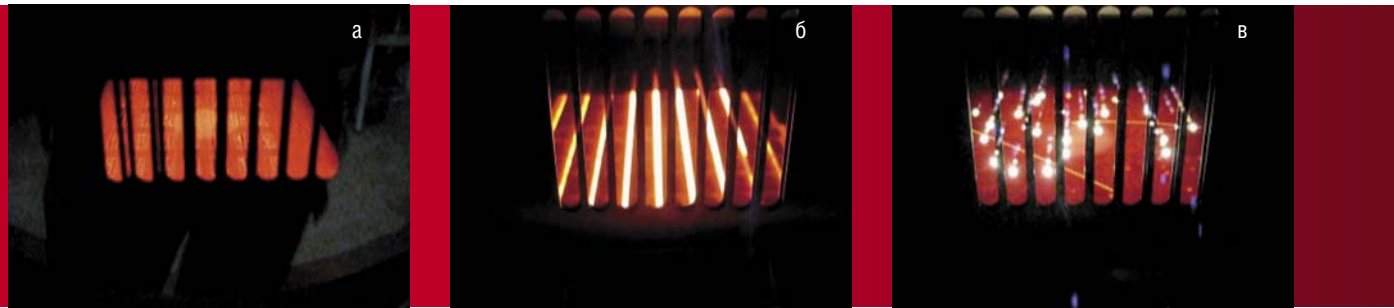
Справа – пластиковая модель костей и крепежные пластины из медицинского титан-алюминий-ванадиевого сплава, выполненные по аддитивным технологиям

Для «ремонта» перелома часто достаточно соединить края костей, обездвижив конечность гипсовой повязкой, однако нередко приходится прибегать и к хирургическому вмешательству. В самых же сложных случаях элементы нашей «несущей конструкции» бывают повреждены настолько сильно, что требуют частичной или полной замены.

Одна из самых серьезных проблем при производстве костных протезов и других искусственных имплантатов заключается в огромном разнообразии их возможных размеров и форм – от простых металлических пластин для фиксации фрагментов поломанных костей до сложных конструкций, заменяющих отсутствующие или сильно поврежденные фрагменты и даже целые суставы. При этом геометрические размеры скелета очень индивидуальны, поэтому даже в не очень сложных случаях хирургу часто приходится подгонять стандартный элемент из доступного «ортопедического конструктора» непосредственно во время операции. Фактически в этом случае операционный зал совмещается с механической мастерской, и ортопед отрезает куски металла и подгоняет протез по форме, пока больной находится под наркозом.

Если же говорить о целых «сменных узлах», то здесь ситуация еще более непростая. В промышленности путь к удешевлению продукции и переводу ее в категорию «доступное» идет через массовое производство, когда соответствующая деталь изготавливается в огромных количествах без изменений в конструкции. Но «универсального» имплантата не существует, а производство «индивидуализированных» изделий малыми сериями приводит к значительному удорожанию продукции.

Производители имплантатов нашли компромиссный выход: они поддерживают баланс цен путем снижения разнообразия размеров изделий. Так, в Европейском союзе по традиционным технологиям производится не более дюжины однотипных протезов различного размера. Но этого явно недостаточно, и у пациентов часто приходится подтачивать кости и применять особый «клей» для заполнения пустот между костью и имплантатом.

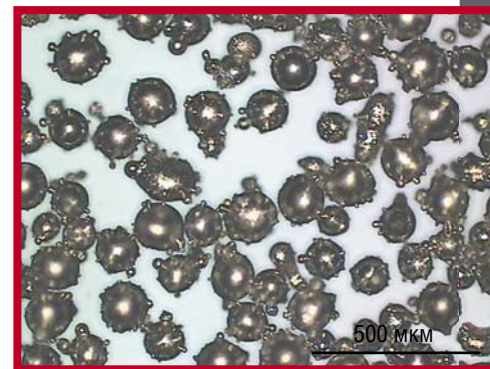


Есть и еще один нюанс. Говорят, что хороший хирург «думает руками». Действительно, многие хирурги заранее продумывают ход операции, пользуясь при этом предоперационными моделями костей, гипсовыми или пластмассовыми, которые традиционно выполняет скульптор по рентгеновским снимкам или трехмерным томографическим изображениям. Однако такой метод изготовления моделей требует много времени, а откладывать операцию зачастую нельзя по медицинским показаниям.

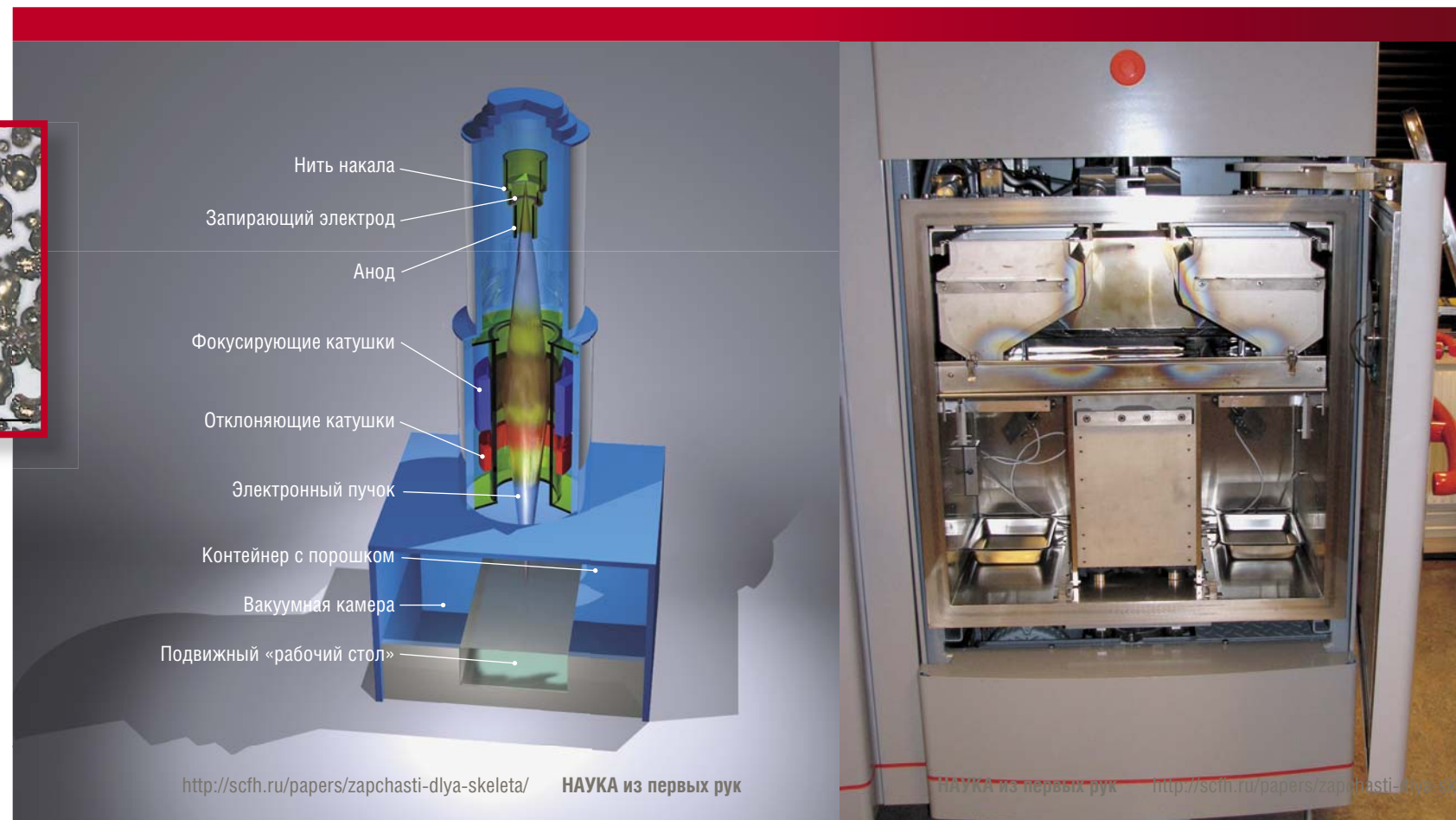
И здесь на помощь приходят аддитивные технологии, с помощью которых можно быстро изготовить не только точные пластиковые

В Институте технологий и устойчивого развития Университета Центральной Швеции установлена аддитивная установка для работы с металлами и сплавами, разработанная и серийно выпускаемая шведской компанией *ARCAM AB*. *ARCAM* управляется компьютером через сенсорный экран. Оператор может контролировать процесс непосредственно или с любого удаленного компьютера, а также получать «текущий отчет» по электронной почте или на мобильный телефон

Исходное сырье для изделия забирается и разравнивается «щеткой»,двигающейся в горизонтальной плоскости (а). После этого вся рабочая зона подогревается расфокусированным сканирующим электронным пучком до температуры 700—800 °С (б). На этой стадии порошок частично спекается. После этого сфокусированный пучок начинает плавить порошок в строго заданных областях наплавленного слоя (в)



Металлический рабочий порошок для аддитивного принтера должен быть достаточно мелкодисперсным, с округлым зерном, размером не больше толщины рабочего слоя (около 100 мкм). Такие порошки обычно изготавливают методом газовой атомизации с последующей разбраковкой по фракциям на ситах с разным размером ячеек



модели и металлические имплантаты, идеально подходящие по размерам и приемлемые по стоимости, но даже специальные операционные инструменты, такие как высокоточные приспособления для сверления или резки костей.

Процесс начинается с компьютерной обработки исходной информации – данных медицинской (обычно рентгеновской) томографии. В результате получают точное трехмерное изображение (цифровую модель) тела, включая кости, хрящи и мягкие ткани. Далее исходная цифровая модель «очищается» (фильтруется) с использованием специальных программ, чтобы получить четкие трехмерные изображения костей.

К сожалению, полученная таким образом геометрическая модель очень сложна и требует неоправданно больших компьютерных ресурсов для дальнейшей работы в инженерных приложениях. Поэтому на следующем этапе ее упрощают, представляя поверхность кости в виде набора покрывающих ее многоугольников (такое представление является стандартным для многих инженерно-конструкторских программ). И вот теперь, используя обычный компьютерно-модельный инструментарий, можно рассчитать прочность костей и быстро изготовить детальную пластиковую модель, используя трехмерный принтер.

Время, требуемое для подготовки файла, зависит от величины и сложности конкретного изделия и обычно не превышает суток. Примерно столько же потребует изготовление и самой пластиковой модели. Таким образом, уже через двое суток после обследования пациента врач может получить выполненную из полимерного материала точную предоперационную модель кости.

Металлы и сплавы, которые можно использовать для медицинских имплантатов, плавятся при высоких температурах (например, титан-алюминий-ванадиевый сплав – при 1650° С) и их очень сложно выдавливать через форсунку. Поэтому в аддитивных технологиях используют прецизионное плавление последовательно наносимых тонких слоев мелкодисперсного металлического порошка с помощью лазерного или электронного пучка.

Сплавы, разрешенные для производства имплантатов, – особые. Они должны не корродировать, быть прочными и, конечно, биосовместимыми, т. е. не вызывать нежелательной реакции организма. При аддитивной плавке электронным пучком рутинно используют такие сплавы, как титан-алюминий-ванадий и кобальт-хром, разрешенные для медицинского применения в Европейском союзе и США.

От получения результатов компьютерной томографии до получения готового, индивидуально подогнанного металлического имплантата проходит несколько суток – примерно такое время и требуется для подготовки серьезной хирургической операции. К тому же имплантаты, изготовленные аддитивной плавкой электронным пучком, прекрасно стерилизуются во время самого процесса, который проходит при очень высоких температурах в глубоком вакууме.

Внутри рабочей вакуумной камеры установки *ARCAM* пучок электронов, создаваемый электронной пушкой, направляется на слой рабочего металлического порошка. Благодаря значительному ускоряющему напряжению мощность пучка достигает нескольких киловатт, а поскольку он сфокусирован в небольшой области (несколько десятых долей мм), температура там значительно превышает 1000 °С. Этого вполне достаточно для быстрой плавки даже очень стойких сплавов.

«Пятно» электронного пучка движется по рабочей поверхности со скоростью несколько километров в секунду. Работа над одним слоем может продолжаться в течение нескольких минут, поэтому при изготовлении сложных изделий машина работает в автоматическом режиме достаточно долгое время. Полный цикл работы может занять до нескольких суток, поскольку изделие должно остыть, прежде чем его можно будет достать из рабочей камеры



Металлическое изделие, изготовленное по аддитивной технологии, находится внутри «кирпича» из спекшегося рабочего порошка как окаменелость внутри куска известняка. В герметичном шкафу, похожем на пескоструйное устройство, будущий имплантат очищается струей рабочего порошка.

Вверху слева – компьютерная модель нескольких индивидуально подогнанных протезов шейки бедра, стоящих на стартовой платформе принтера; вверху справа – изготовленные по этой модели имплантаты из титан-алюминий-ванадиевого сплава после очистки от спеченного рабочего порошка. Внизу – протезы шейки бедра из различных комбинаций пористых и сетчатых структур, плавно переходящих в сплошной металл



ПРЯМИКОМ ИЗ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Возможность манипулировать с трехмерными моделями в виртуальном пространстве, соединенная с возможностью их быстрого «овеществления», существенно расширяет потенциал восстановительной хирургии. Например, изображение раскошенной при сложном переломе кости можно «разобрать» на фрагменты, а затем сложить в строгом порядке так, как это должно быть сделано во время операции. Если же какой-либо из костных фрагментов сохранить не удастся, то можно определить форму замещающих элементов, крепежной металлической пластины-имплантата и оптимальное положение крепежных винтов. После этого программа генерирует компьютерный дизайн моделей кости и идеального имплантата, следующего всем изгибам костной поверхности, с учетом расположения отверстий под винты. Эти файлы уже можно использовать для изготовления пластиковых моделей и самого имплантата

Вслед за природой

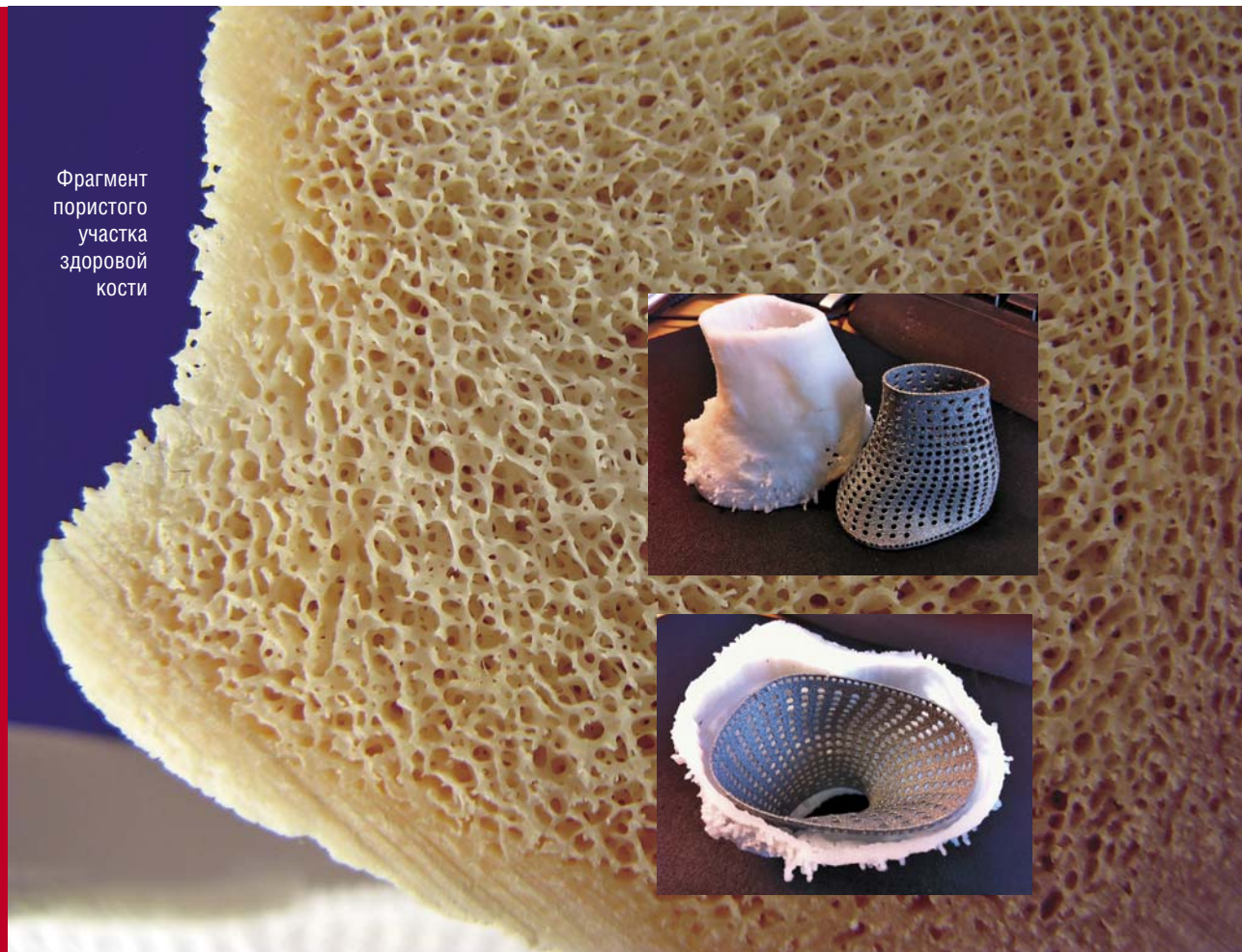
Точная подгонка формы металлических имплантатов, при всех своих плюсах, решает лишь одну из насущных проблем ортопедии. Более серьезной и во многом нерешенной задачей является обеспечение полноценного функционирования замененных «испорченных узлов», их долгосрочной бесперебойной работы внутри организма.

Стоит вспомнить, что все наши кости – даже те, которые называют трубчатыми, – не являются сплошными твердыми структурами, а включают в себя и многочисленные пористые участки. Имплантаты же, выполненные из сплошного металла, препятствуют свободному движению биологических жидкостей, тормозя процесс образования новых тканей.

К тому же цельнометаллические имплантаты гораздо прочнее окружающих их костей: например, сплошной титановый стержень чуть толще обычного карандаша выдерживает такие изгибающие усилия, как если бы по нему проехал автомобиль. Конечно, никакая кость подобных нагрузок не выдержит, и этот факт часто провоцирует вторичные переломы в непосредственной

Каждую минуту в России из-за остеопороза происходит семь переломов позвонков, а каждые пять минут – перелом шейки бедра. Эта болезнь – одна из основных причин инвалидности и смертности среди пожилых людей. Протезирование шейки бедра сегодня является распространенной операцией, а часто – и единственной возможностью сохранить пациенту подвижность. Протезы с индивидуально подобранной геометрией благодаря точной подгонке размеров служат гораздо дольше, чем обычные, обеспечивая пациенту полное восстановление подвижности





Фрагмент пористого участка здоровой кости

близости от имплантата – в месте, где кость не защищена металлом.

Все это означает, что в идеале не только форма, но и структура металлического имплантата должна быть приближена к натуральным костям, т. е. включать сетчатые и пористые участки. Но комбинацию пористых и сетчатых металлических структур, плавно переходящих в сплошной металл, чрезвычайно трудно получить с помощью традиционных технологий. А вот аддитивные с этим легко справляются.

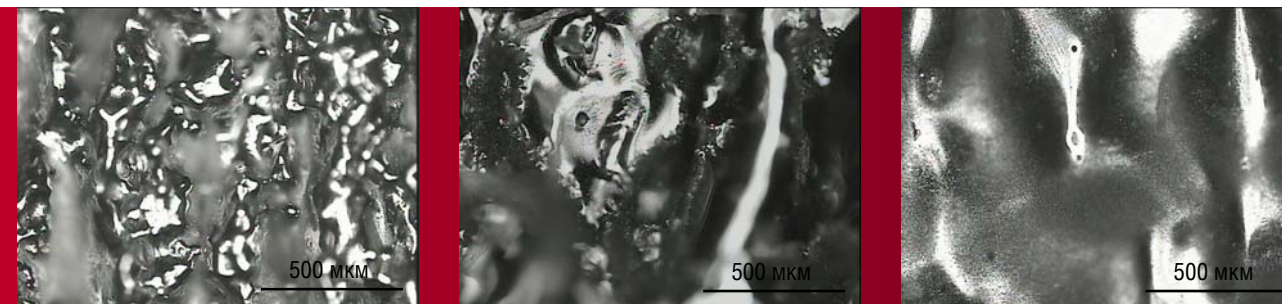
Рыхлая металлическая сетка, плавно переходящая в цельнометаллический стержень имплантата, служит для растущей кости своего рода арматурой и постепенно обрастает костной тканью. Такое соединение имплантата с исходной костью получается во много раз прочнее, чем при обычных технологиях.

Как уже упоминалось, избыточная прочность металлических структур, замещающих кости, в некоторых случаях становится недостатком. Однако подбирая толщину цельнометаллического стержня, окруженного трехмерной сеткой переменной плотности, можно

Такая защитная титановая сетка, изготовленная по аддитивной технологии, была вставлена внутрь большой бедренной кости реального пациента. В этом случае пораженные остеопорозом кости были настолько непрочными, что без поддержки не смогли бы удержать цельнометаллический протез шейки бедра

регулировать жесткость структуры. При этом внешняя часть (сетка) будет по-прежнему точно следовать поверхности кости, а внутренний стержень – обеспечивать необходимую жесткость.

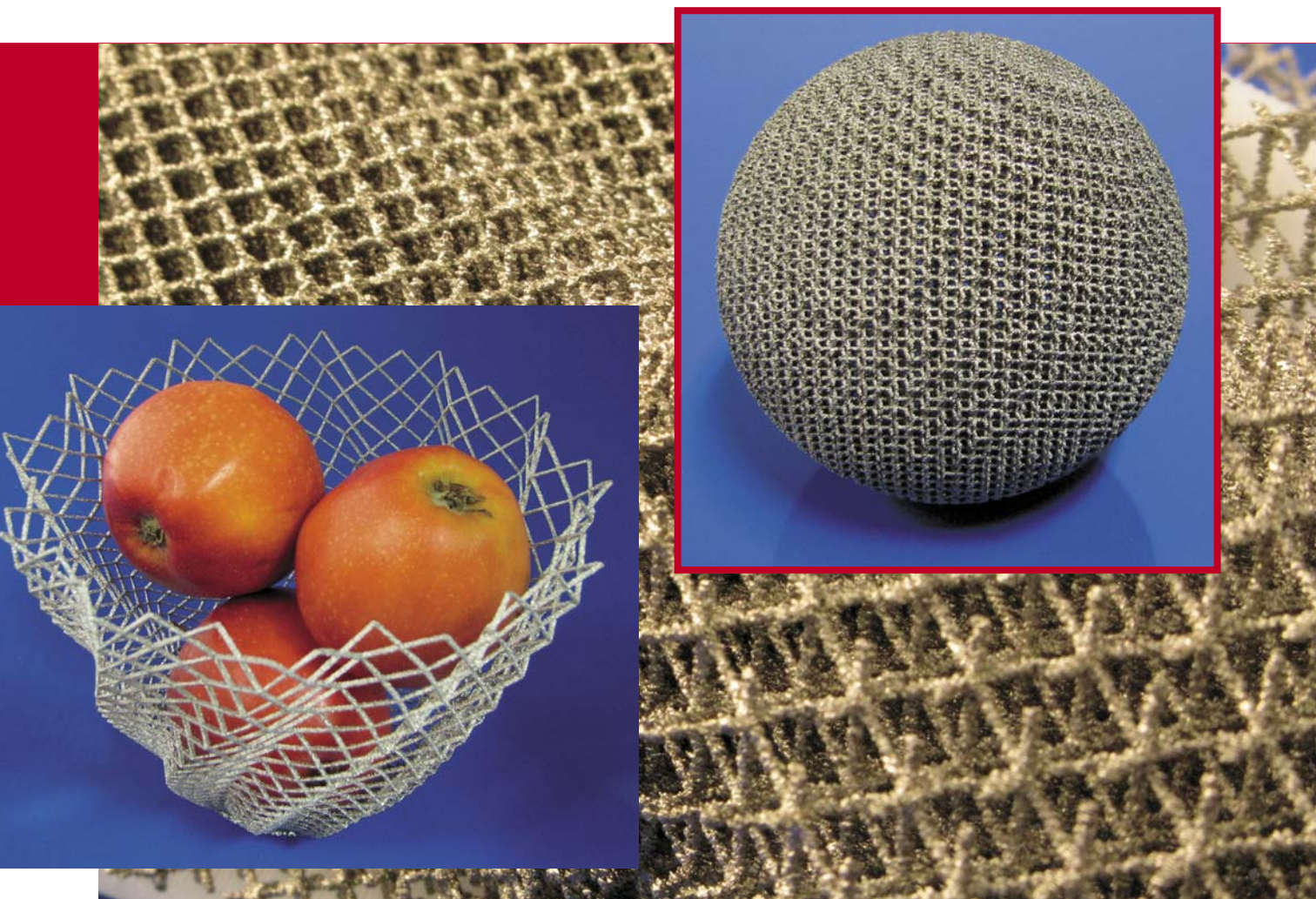
К тому же нельзя забывать, что вновь нарастающая костная ткань плохо держится, если поверхность имплантата будет слишком гладкой. Поэтому после изготовления имплантатов традиционными методами их поверхность, которой предстоит соприкоснуться с костью, специально делают более шероховатой. А в аддитивных технологиях шероховатая, пористая или сетчатая поверхность получается непосредственно в процессе изготовления тела имплантата.



С помощью электрохимического травления можно значительно изменить геометрию поверхностей имплантатов. Процесс сглаживания поверхности титан-алюминий-ванадиевого имплантата с увеличением времени электрохимического травления. Оптическая микроскопия



В этом сложном клиническом случае недостающие части челюсти пациента были замещены металлическими имплантатами с «гнездами» для будущих зубных протезов. При этом использовался как цельнометаллический протез (нижняя модель) так и протез из трехмерной металлической «сетки» (верхняя модель). Крепежные пластины и замещающие имплантаты, созданные по аддитивной технологии из медицинского титан-алюминий-ванадиевого сплава, представляют собой единое целое



тонкий (на уровне микро- и нанометровых элементов) контроль за поверхностью изделия.

К тому же необработанная поверхность деталей, выполненных аддитивной плавкой электронным пучком, содержит большое количество частично приплавленных зерен рабочего порошка. И всегда присутствует риск, что эти зерна могут оторваться от протеза в то время, когда он находится в человеческом организме.

Сегодня наиболее перспективными методами обработки поверхностей имплантатов, изготовленных по аддитивным технологиям, считаются плазменные (в вакууме или разреженной газовой среде), химические и электрохимические (в растворе). Так, электрохимическим травлением можно убрать с поверхности лишние зерна рабочего порошка, а в некоторых случаях и сгладить мелкие и средние элементы микрорельефа.

Прикрепление тканей к поверхности имплантатов подразумевает, в том числе, и образование химических связей с материалом имплантата. Регулируя химический состав поверхности, можно увеличить прочность

Аддитивная плавка электронным пучком позволяет в рамках одного производственного процесса легко комбинировать цельнометаллические, сетчатые и пористые структуры в едином изделии. Наглядным примером таких изделий может служить ваза из титан-алюминий-ванадиевого сплава и титановый шар, представляющий собой двухмиллиметровой толщины сетчатую «скорлупу»

этих связей и, в результате, облегчить процесс прикрепления клеток.

Для такой химической модификации поверхности имплантата можно с успехом использовать те же самые химические или электрохимические методы. Например, с их помощью можно окислировать поверхность либо осадить на нее такие биологически совместимые вещества, как гидроксиапатит – одну из форм фосфата кальция, входящую в состав природного костного материала.

ИМПЛАНТАТЫ ИЗ «СТЕКЛА»

Благодаря развитию материаловедения появилась возможность использовать в аддитивных технологиях новые классы материалов. Одни из наиболее интересных – так называемые аморфные сплавы или «металлические стекла». Открытые еще в начале 1960-х гг., металлические стекла сегодня превратились из экзотического предмета научного исследования в перспективные технологические материалы. Исключительная твердость и высокая прочность наряду с очень высокой устойчивостью к коррозии делают их чрезвычайно заманчивыми кандидатами для производства медицинских имплантатов. К тому же в последние годы были открыты аморфные сплавы на основе железа, которые значительно дешевле по сравнению с давно известными металлическими стеклами на основе редкоземельных элементов

Появление компьютерных технологий дизайна явилось в свое время огромным рывком вперед по сравнению с традиционными методами «карандаша и бумаги», позволив координировать работу дизайнеров и инженеров из любых уголков мира и, главное, моделировать свойства реальных узлов и элементов конструкций еще на стадии конструкторской разработки. В сочетании с технологиями трехмерной печати они создали беспрецедентную возможность для точного и быстрого материального воплощения конструкторской идеи.

Используя этот подход в медицине, сегодня можно не только детально «отрепетировать» на экране компьютера ход хирургической операции, но и сделать предоперационные модели сломанных костей, подобрать и изготовить сами имплантаты и даже операционный инструмент.

Конечно, эти технологии пока еще не вошли в широкую медицинскую практику, хотя собственно технологические аспекты изготовления «запасных частей» для скелета во многом успешно решены. Но хочется думать, что уже не в столь отдаленном будущем аддитивные технологии смогут обеспечить всех нуждающихся имплантатами костей, индивидуально подобранными как по форме, так и по механическим и функциональным свойствам. И это будет еще один крупный вклад новейших технологий в так необходимую и так долго ожидаемую нами «персонализацию» медицины.

Так выглядит под разным увеличением поверхность металлического стекла – аморфного сплава на основе железа – после плавки электронным пучком. Оптическая поляризационная микроскопия

Литература
Cronskär M., Rännar L.-E., Bäckström M. Implementation of Digital Design and Solid Free-Form Fabrication for Customization of Implants in Trauma Orthopaedics // Journal of Medical and Biological Engineering. 2012. Vol. 32. № 2. P. 91–96.

Koptyug A. et al. Electron Beam Melting: Moving from Macro- to Micro- and Nanoscale // Proceedings of the Intl. Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, THERMEC-2011. Quebec, Canada, August 1–5, 2011.

Cronskär M. et al. Application of electron beam melting to titanium hip stem implants // Proceedings of Intl. Conference on Additive Technologies, September 17–18. Ptuj, Slovenia, 2008.

В публикации использованы фотографии из архива группы аддитивных технологий Института технологий и устойчивого развития Университета Центральной Швеции (Остерзунд) а также П. Дерана (Лундский Университет) и Я. Хирша (Университет Уппсалы)



Персонализированная медицина:

ЛЕЧИТЬ НЕ БОЛЕЗНЬ, А БОЛЬНОГО



ЛИФШИЦ Галина Израилевна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая лабораторией персонализированной медицины Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 170 научных работ, 2 монографий, 10 учебно-методических пособий



ФИЛИПЕНКО Максим Леонидович – кандидат биологических наук, заведующий группой фармакогеномики Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 200 научных работ



ШЕВЕЛА Андрей Иванович – доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Заслуженный врач России. Автор и соавтор более 150 научных работ и 10 патентов

Широко известный принцип, что «лечить нужно не болезнь, а больного», был провозглашен еще знаменитым врачом древности Гиппократом. Однако многим из нас довелось убедиться на собственном печальном опыте, что современная медицина ориентирована на лечение «отдельных симптомов» у некоего среднестатистического человека. И все же «свет в конце тоннеля» виден: в нашу «постгеномную эру» благодаря новейшим достижениям молекулярной биологии появилось и находит все более широкое распространение понятие «персонализированная медицина». Это дает надежду, что индивидуальный подход к медицинской помощи наконец станет реальностью

Ключевые слова: персонализированная медицина, биочипы, фармакогеномика.
Key words: the personalized medicine, biochips, pharmacogenetics

Даже древние целители, зачастую имевшие смутные представления о деятельности и строении человеческого организма, считали важным дифференцированно подходить к лечению своих пациентов. Занимаясь, пусть и не всегда успешно, восстановлением «природной гармонии» или «баланса телесных соков» больного, они старались учитывать его физическую конституцию, образ жизни, характер питания и даже особенности места проживания.

Позже, с развитием так называемой классической медицины и появлением ряда новых естественнонаучных дисциплин, таких как анатомия, физиология, биохимия и фармакология, врачи научились справляться с массой недугов, считавшихся ранее неизлечимыми. Но при этом медицина стала во многом «обезличенной», и место реального страдающего человека занял обобщенный статистический образ. Лишь в некоторых случаях (например, при переливании крови или трансплантации тканей) специалисты были вынуждены в обязательном порядке учитывать индивидуальные особенности организма больного.

Но развитие, как известно, всегда идет по спирали. Поэтому неудивительно, что, начиная с конца прошлого века, в специализированной литературе появился и стал все чаще использоваться термин *индивидуализированная (персонализированная) медицина*. Речь идет о новой модели организации медицинской помощи, которая позволит выбирать диагностические, лечебные и профилактические средства, оптимальные для конкретного человека с учетом его генетических, физиологических и биохимических особенностей. Конечная цель такой медицины – сделать профилактику и лечение болезней при наименьших затратах как можно более эффективными и безопасными.



Своими успехами современная персонализированная медицина и, в частности, молекулярная диагностика болезней, обязана методам и подходам, разработанным в рамках передовой молекулярной биологии, которая занимается изучением процесса реализации наследственной информации на уровне целостного организма

Молекулярная биология как точка опоры

Фундаментом для развития персонализированной медицины стали выдающиеся успехи, достигнутые в молекулярной биологии за последние десятилетия.

Отправной его точкой стал знаменитый международный проект «Геном человека», стартовавший в 1990 г. Его цель состояла в расшифровке полной нуклеотидной последовательности ДНК и установления точной локализации отдельных генов в нашем геноме. Результаты этого проекта, выразившиеся, в том числе, и в бурном развитии технологий массового секвенирования ДНК, позволили медицинской генетике вплотную приблизиться к клинической практике.

Дальнейшее развитие персонализированной медицины тесно связано с обособлением новых биологических дисциплин, занимающихся изучением различных уровней реализации информации, заключенной в геноме: *транскриптома* – совокупности продуктов транскрипции (считывания) генов; *протеома* – совокупности всех белковых молекул и, наконец, *метабола* – совокупность относительно небольших молекул-метаболитов, конечных продуктов обмена веществ.

Фармацевтические приложения вышеперечисленных дисциплин – *фармакогенетика*, *фармакогеномика* и *фармакопротеомика* – стали важнейшими основами

персонализированной медицины. Разница между фармакогенетикой и фармакогеномикой заключается в том, что первая дисциплина изучает изменчивость пациентов по их реакции на лекарства, соответственно, ее целью является подбор адекватных препаратов для больных определенного генетического профиля; фармакогеномика же занимается разработкой новых лекарственных средств на основе исследований специфического воздействия различных соединений на работу генов на уровне целостного генома.

Почему эти дисциплины так важны? Дело в том, что в наши дни, когда лекарственные препараты назначаются без учета индивидуальных особенностей реакции организма, у 20–75% пациентов проявляется неадекватная реакция на фармакотерапию либо нежелательные побочные действия лекарства. По данным Американской медицинской ассоциации, в 2004 г.

Как известно, ДНК любых двух людей совпадают между собой примерно на 99,9%. Однако оставшаяся 0,1% определяет массу различий между нами, от черт лица до черт характера. И в том числе разную предрасположенность к заболеваниям. Поэтому, имея информацию об особенностях структуры и функционировании генов у конкретного человека, можно выявить болезнь на ранней стадии или даже предупредить ее развитие

в США такие побочные реакции послужили причиной госпитализации 2 млн человек и смерти более 100 тыс. (Зырянов и др., 2008).

Причина подобных явлений в том, что лекарства метаболизируются у разных людей по-разному. Например, скорость выведения их из организма может отличаться в десятки раз! Однако, зная индивидуальные особенности генотипа и процессов «развертывания» генетической информации на уровне целостного организма, можно разработать прогностические тесты, позволяющие еще до начала медикаментозного лечения определить его эффективность и вероятность развития побочной реакции у конкретного пациента.

Выбор оптимального метода фармакотерапии на самом раннем этапе лечения способствует и более четкому соблюдению режима пациентом, и, что немаловажно, сокращению медицинских расходов. Признание факта существования межличностных различий в ответе на фармацевтический препарат – важный шаг к персонализации и оптимизации терапии.

«Технологический» диагноз

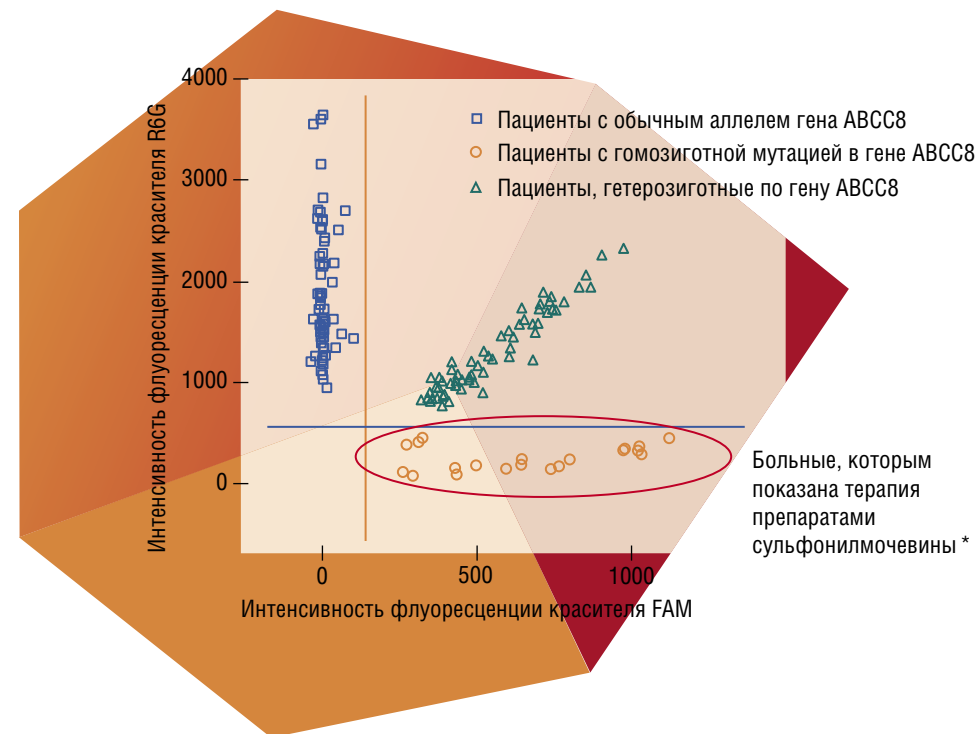
Важнейшей основой персонализированной медицины является *молекулярная диагностика*. Она не отвергает классические методы постановки диагноза, такие как сбор анамнеза, осмотр больного, клиническое обследо-

вание, но основной упор при этом делается на высокотехнологичный анализ биологических макромолекул (ДНК, РНК и белки).

Можно выделить несколько аспектов молекулярной диагностики в приложении к персонализированной медицине: раннее выявление болезни; подбор адекватного лечения безопасным и эффективным препаратом; интеграция диагностики и терапии; мониторинг лечения и определение прогноза.

Молекулярная диагностика широко используется для генетического тестирования, а также в генетическом скрининге больших популяций. Например, уже сейчас в роддомах проводится массовое генетическое обследование новорожденных с целью выявления наследственных заболеваний. Классический пример подобных заболеваний – фенилкетонурия, которой в нашей стране болеет один ребенок из 8–10 тыс. У детей с фенилкетонурией в будущем развивается умственная отсталость, но если поставить диагноз своевременно, то для предотвращения развития патологии достаточно будет исключить из рациона ребенка продукты, содержащие аминокислоту фенилаланин.

Методы молекулярной диагностики основаны на использовании *биомаркеров* – выявленных с помощью специальных исследований определенных биологических молекул, указывающих на то или иное состояние систем и тканей организма. К биомаркерам относятся



* По результатам анализа генотипов 350 пациентов

В качестве сахароснижающей старт-терапии при диабете 2-го типа используют препараты сульфонилмочевины – глимепирид или глибенкламид. Они воздействуют на АТФ-чувствительные калиевые каналы β-клеток поджелудочной железы, в которых синтезируется инсулин. Это приводит к уменьшению клеточного трансмембранного потенциала, активации потенциалзависимых кальциевых каналов и быстрому поступлению кальция внутрь клеток. В результате происходит дегрануляция β-клеток и секреция инсулина. Однако эта терапия будет эффективна только у больных с мутацией в гене ABCC8, который кодирует составную белковую единицу АТФ-чувствительного калиевого канала. Работа выполнена Е. А. Кудрявцевой (группа фармакогеномики ИХБФМ СО РАН, Новосибирск)

и участки генов, ответственных за тот или иной признак организма, например, за предрасположенность к определенной болезни. И в этом смысле на сегодня важнейшими технологиями в приложении к персонализированной медицине являются генотипирование *полиморфизма* (вариабельности) генов по единичным нуклеотидам, а также *биологические микрочипы*, с помощью которых можно обнаружить в клиническом образце протяженные нуклеотидные фрагменты ДНК и РНК.

Биочипы — миниатюрные приборы, предназначенные для одновременной регистрации множества взаимодействий между различными молекулами. В основе этой технологии лежит комплементарность молекул, т.е. способность связываться по принципу «замок—ключ». На пластинке биочипа в строгом порядке закреплено множество так называемых *молекулярных зондов*, которые избирательно реагируют с определенными участками молекул-мишеней из клинического образца, взятого у пациента.

Биочиповая технология неизмеримо расширила диагностические возможности персонализированной медицины: на ее основе можно создавать портативные устройства для молекулярной диагностики, при этом один биочип может одновременно нести множество самых разнообразных зондов на различные молекулы-мишени. Эта технология также позволяет значительно ускорить процесс разработки новых «персонализированных» лекарственных средств.

Терапия рака

На сегодня лидером по внедрению элементов персонализированной медицины в медицинскую практику является онкология. При оперативном вмешательстве или биопсии в ткани опухоли сегодня можно определить ряд онкологических маркеров, чтобы выработать стратегию лечения для конкретного пациента. Специфические мутации определенных генов, с которыми связана тяжесть течения заболевания и прогноз лечения, уже обнаружены для рака молочной железы, меланомы, некоторых форм рака легкого и рака толстой кишки.

Яркий пример таких биомаркеров — белок-рецептор так называемого эпидермального фактора роста 2-го типа (HER2). В каждом пятом случае рака молочной железы и в 15 % случаев рака желудка наблюдается повышенный синтез этого белка, и в этих случаях болезнь принимает агрессивную форму. Сегодня с помощью специального теста можно вовремя обнаружить такую особенность пациента и назначить специфический блокатор (Yamauchi *et al.*, 2001).

Еще один подобный пример — мутация в гене BRAF, участвующем в регуляции процесса деления клеток.

Эта мутация встречается примерно у половины больных метастатической меланомой. Для этого случая также разработан целевой препарат, позволяющий уменьшить тяжесть протекания заболевания (Flaherty, 2010).

Для лечения некоторых форм рака принято использовать интерферон, но такая терапия оказывается успешной только у 20–30% больных, у остальных же вызывает тяжелые побочные эффекты. Молекулярная диагностика с помощью биочипа производства фирмы *Hoffmann-LaRoche* дает возможность выявить пациентов, чувствительных к этому препарату. Этим больным можно назначать лечение интерфероном на ранних стадиях заболевания, тогда как прежде применение интерферона допускалось лишь в крайних, запущенных случаях болезни (Jain, 2002).

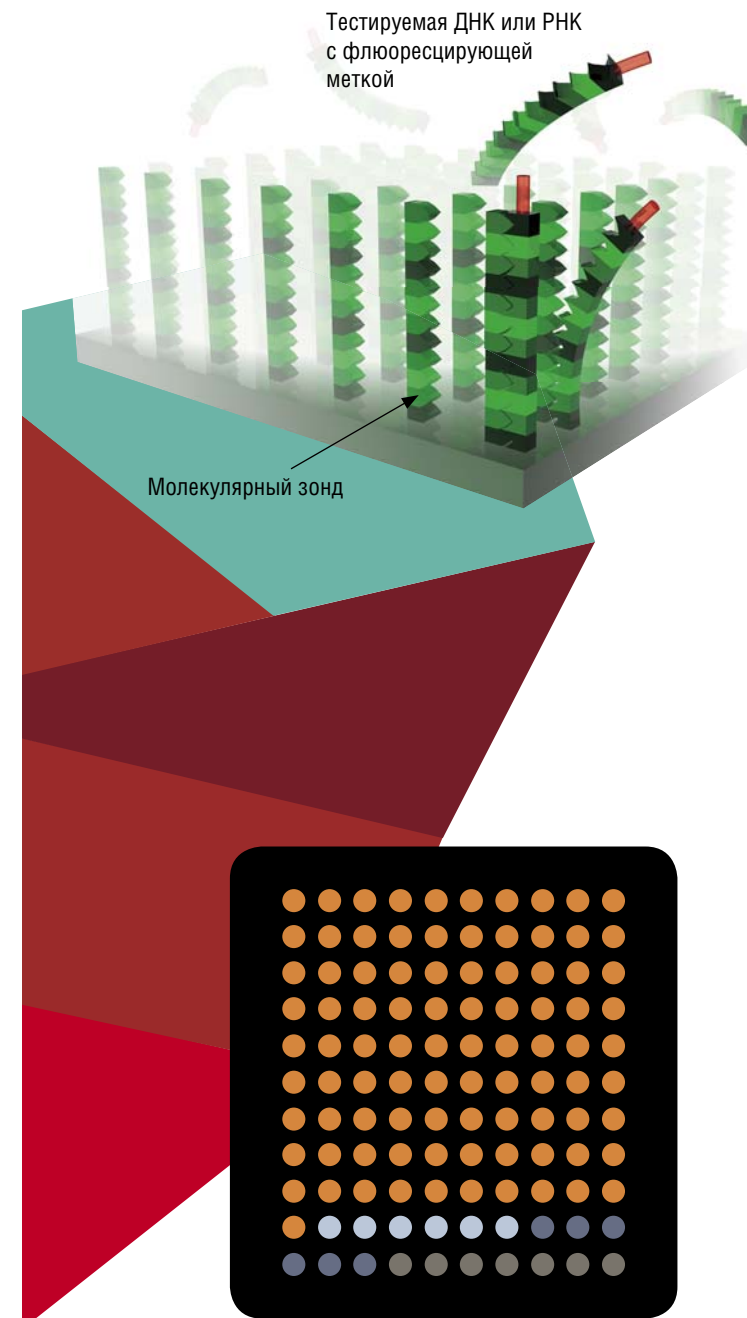
Один из подходов к лечению злокачественных опухолей состоит в том, чтобы заставить иммунную систему самого организма распознавать и уничтожать клетки сформировавшейся опухоли. При этом надо учесть, что хотя все опухоли возникают по схожему молекулярно-генетическому механизму, они обычно сопровождаются случайными мутациями в разных генах. В результате «молекулярный отпечаток» опухоли, на который должна реагировать иммунная система, имеет уникальный характер у каждого больного. На этом основании компания *Antigenics Corporation* начала производить «абсолютно персонализированные» средства иммунотерапии рака из опухолевых тканей самих больных (Jain, 2002).

Известно, что у разных пациентов сильно варьирует и реакция на химиотерапию, что может быть обусловлено генетическими различиями метаболизма. Соответствующее тестирование пациентов могло бы помочь избежать тяжелого и неэффективного лечения.

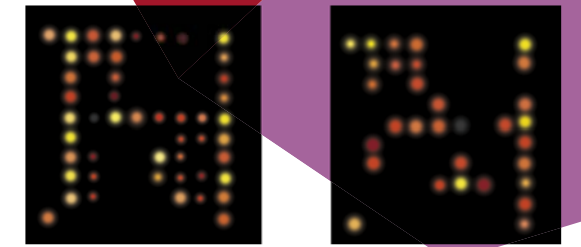
К сожалению, в России, особенно в отдаленных регионах, на сегодняшний день не имеется достаточного числа клинических лабораторий, в которых можно проводить тестирование опухолевого материала от каждого больного. И в этом смысле достижения фармакогеномики в нашей стране практически не используются, хотя, согласно ожиданиям, в течение ближайшего десятилетия появятся молекулярно-диагностические технологии, которые будут учитывать специфику всех применяемых онкологических препаратов.

Для сердца и сосудов

Еще один бич нашего времени — гипертоническая болезнь, которая относится к так называемым многофакторным заболеваниям. Для лечения гипертонии создано множество фармакологических препаратов: диуретики, α-адреноблокаторы, блокаторы кальциевых каналов и т.д. Они различаются по механизму



- Зонды для ортопоксвирусов
- Зонды для вирусов герпеса 1 типа
- Зонды для вирусов герпеса 2 типа
- Зонды для вирусов герпеса 3 типа



Чувствительная к антибиотикам форма туберкулеза

Устойчивая к антибиотикам форма туберкулеза

Биочипы представляют собой матрицу из множества ячеек, каждая из которых содержит молекулярные зонды, способные специфично связываться с определенной биологической молекулой или ее фрагментом (например, последовательностью ДНК). Для фиксации факта взаимодействия анализируемый образец до инкубации метится флуоресцентной меткой. По картине свечения можно определить наличие (или отсутствие) искомым молекул в образце, при том что один биочип может нести множество разнообразных молекулярных зондов.

Вверху — созданный в Институте молекулярной биологии им. Энгельгардта (Москва) микрочип для диагностики форм туберкулеза, предназначенный для выявления устойчивых к стандартным антибиотикам рифампицину и изониазиду. *По: (Синяков, 2007)*

МИНИАТЮРНЫЙ ДИАГНОСТ

Биочиповые технологии как нельзя лучше подходят для быстрого и точного определения инфекционных агентов. Специалисты лаборатории медицинской химии ИХБФМ СО РАН (Новосибирск) совместно с американскими коллегами разработали микрочиповый метод обнаружения и классификации опасных для человека ортопоксвирусов, к которым принадлежат опасные для человека вирусы натуральной оспы и оспы обезьян. Хотя вирус натуральной оспы был искоренен в 1970-е гг. прошлого столетия, существует вероятность его нового проявления в человеческой популяции, в том числе в благодаря биотерроризму. Микрочип способен определять не только опасные для человека виды ортопоксвирусов, но и герпесвирусы 1, 2 и 3 типов. Важность такой одновременной диагностики в том, что болезни, вызванные этими вирусами, имеют схожие клинические проявления, но требуют разного лечения.

Микрочип для одновременного определения ортопоксвирусов и герпесвирусов содержит споты с различными молекулярными зондами. *По: (Синяков, 2007)*



Препарат варфарин – непрямой антикоагулянт, который понижает свертываемость крови. Этот препарат жизненно необходим при нарушениях сердечного ритма, венозных тромбозах и тромбоэмболиях, а также после кардиохирургических операций. Варфарин назначают на длительный срок, при этом прием лекарства чреват развитием различных осложнений, в первую очередь кровотечениями. Индивидуальная чувствительность к варфарину определяется генотипом, в частности – полиморфизмом гена VKORC1, который кодирует белок клеток печени, ответственный за реактивацию витамина К. Поэтому терапевтически эффективная доза варфарина различна для больных, несущих разные структурные варианты этого гена. По данным *Pharmacogenomics Knowledge Database*

действия, эффективности, а также по вызываемым побочным действиям. Подбор эффективного и достаточно безопасного комплекса препаратов для конкретного больного зачастую является для врача сложной и нестандартной задачей. Поэтому неудивительно, что пока лишь у менее трети всех гипертоников удается добиться хорошего контроля за давлением крови (Rusnak *et al.*, 2001).

В последние годы для решения этой проблемы также начинают привлекать возможности персонализированной медицины. Например, было показано, что на эффективность препарата фосиноприла – ингибитора ангиотензинконвертирующего фермента (АКФ) – влияет полиморфизм гена, кодирующего этот фермент (Stavroulakis, Makris, 2000). Компания *Sequenom* выпускает тест для выявления пациентов, которых следует в первую очередь лечить препаратами группы антагонистов АКФ. Такое тестирование позволяет уменьшить число лекарственных препаратов, необходимых для адекватного лечения.

Всем также известно, что одним из основных факторов развития стенокардии – формы ишемической болезни сердца, является повышенный уровень «плохого» холестерина в крови. Для его снижения используют препараты группы статинов (симвастатин, аторвастатин и др.). В 2002 г. компания *Genaisance* закончила масштабное клиническое исследование, цель которого заключалась в поиске специфических генетических маркеров, связанных с эффективностью действия этих препаратов. В результате удалось выявить около сотни генов, которые могут быть связаны с «ответом» пациента на статины (Jain, 2002).

Имеется еще немало примеров, демонстрирующих применение передовых геномных технологий для индивидуализации лечения больных. Предполагается, что в ближайшее время персонализированная медицина будет активно развиваться в таких областях, как кардиология, иммунология и заболевания центральной нервной системы. В более отдаленной перспективе ее возможности будут использоваться при лечении метаболических расстройств и даже респираторных заболеваний.

Трудности роста

Работа над конкретными технологическими решениями в области молекулярной диагностики идет постоянно. Однако сегодня мы явно недооцениваем сложность превращения громадных объемов данных, полученных в научных исследованиях, в новые клинически ценные продукты.

Как это ни печально, но большинство открытых за последнее десятилетие биомаркеров в настоящее время нельзя использовать для улучшения уже существующих клинических тестов. Дело в том, что потенциально значимый биомаркер должен быть воспроизводимым, чувствительным и специфичным. Поэтому сначала его требуется *валидировать*, т.е. подтвердить на сотнях клинических образцов тканей, что подразумевает существование больших коллекций образцов от пациентов и соответствующих баз данных. Такой же длительной и дорогостоящей апробации требует и разработанное для определения маркера технологическое решение.

Поэтому неудивительно, что большинство открытых биомаркеров так и остаются лишь упоминанием в научных публикациях. Например, простой поиск по ключевым словам «cancer marker clinical validation» (клиническая валидация опухолевых маркеров) в базе данных *Medline* выдает 1592 результата, тогда как по ключевым словам «new cancer marker» (новые опухолевые маркеры) – почти 30 тысяч!

Во многом именно эта «болевая» точка замедляет развитие современной персонализированной медицины в России, и именно здесь должны быть приложены значительные усилия для преодоления имеющихся проблем.

Есть и другие, более объективные, препятствия. К ним относятся, в частности, неполнота имеющихся на сегодня фундаментальных знаний о связях между генотипом

и фенотипом – реальной реализацией наследственной информации на уровне индивидуума. Современный технический уровень биоинформатики не всегда позволяет адекватно обрабатывать огромные массивы данных.

До сих пор не вполне ясен и экономический аспект внедрения новых медицинских технологий в практическую медицину. Маркетологи испытывают затруднения с оценкой стоимости такого лечения, но есть все основания считать, что массовое использование технологий персонализированной медицины со временем должно окупиться за счет повышения эффективности диагностики и, в конечном итоге, снижения сроков лечения и реабилитации больного.

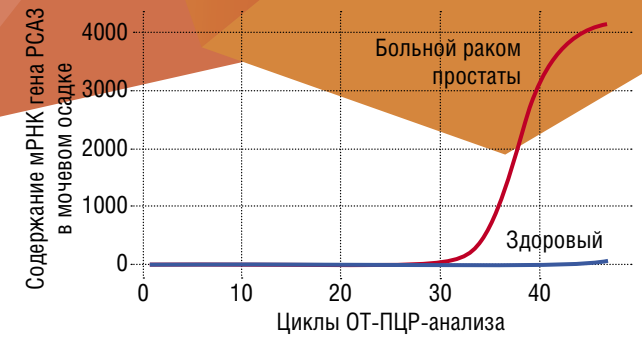
Что же врачи и их пациенты могут ждать от персонализированной медицины в будущем?

На рынке будут появляться новые портативные диагностические устройства. Дальнейшее развитие информационной сферы обеспечит доступ пациентов к своим медицинским данным в электронном виде, включая генетический профиль.

Благодаря появлению возможности определять генетическую предрасположенность к тем или иным болезням, врачи будут разрабатывать комплекс индивидуальных профилактических мер, а в случае наступления заболевания – назначать лечение в соответствии с генетической конституцией больного, включая конкретно для него изготовленное лекарство.

Но это, конечно, идеальная ситуация. Что касается нашей страны, то развитие в России персонализированной медицины связано, в первую очередь, с активизацией фармакогеномных исследований социально значимых заболеваний человека, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания, лекарственная терапия которых особенно сложна и дорогостояща. По мнению специалистов, необходимо инициировать создание электронных экспертных систем и банков биоматериалов, а также проведение продолжительных эпидемиологических проектов, которые на сегодня в России полностью отсутствуют (Баранов, 2011).

Кроме того, очень важно проводить большую просветительную и образовательную работу среди работников здравоохранения и фармацевтов, а также создавать новые учебные программы для высшей школы, сфокусированные на возможностях и технологиях персонализированного лечения. Наконец, и сами пациенты, как «конечные потребители» медицинских услуг, должны иметь возможность получать достоверную информацию относительно ограничений и преимуществ новой медицины.



Для молекулярной диагностики рака простаты обычно используют маркер ПСА (простатспецифический антиген). Однако намного более специфичным маркером злокачественной трансформации является белок РСА3, т.к. ген РСА3 не активируется в случае доброкачественной гиперплазии и воспалительных процессов в простате. Поэтому в случае неоднозначного диагноза (а на сегодняшний день речь идет о семи случаях из десяти) хорошим критерием целесообразности биопсии служит наличие в моче самого белка РСА3 либо матричной РНК гена РСА3, которая содержит информацию об аминокислотной последовательности белка (вверху).

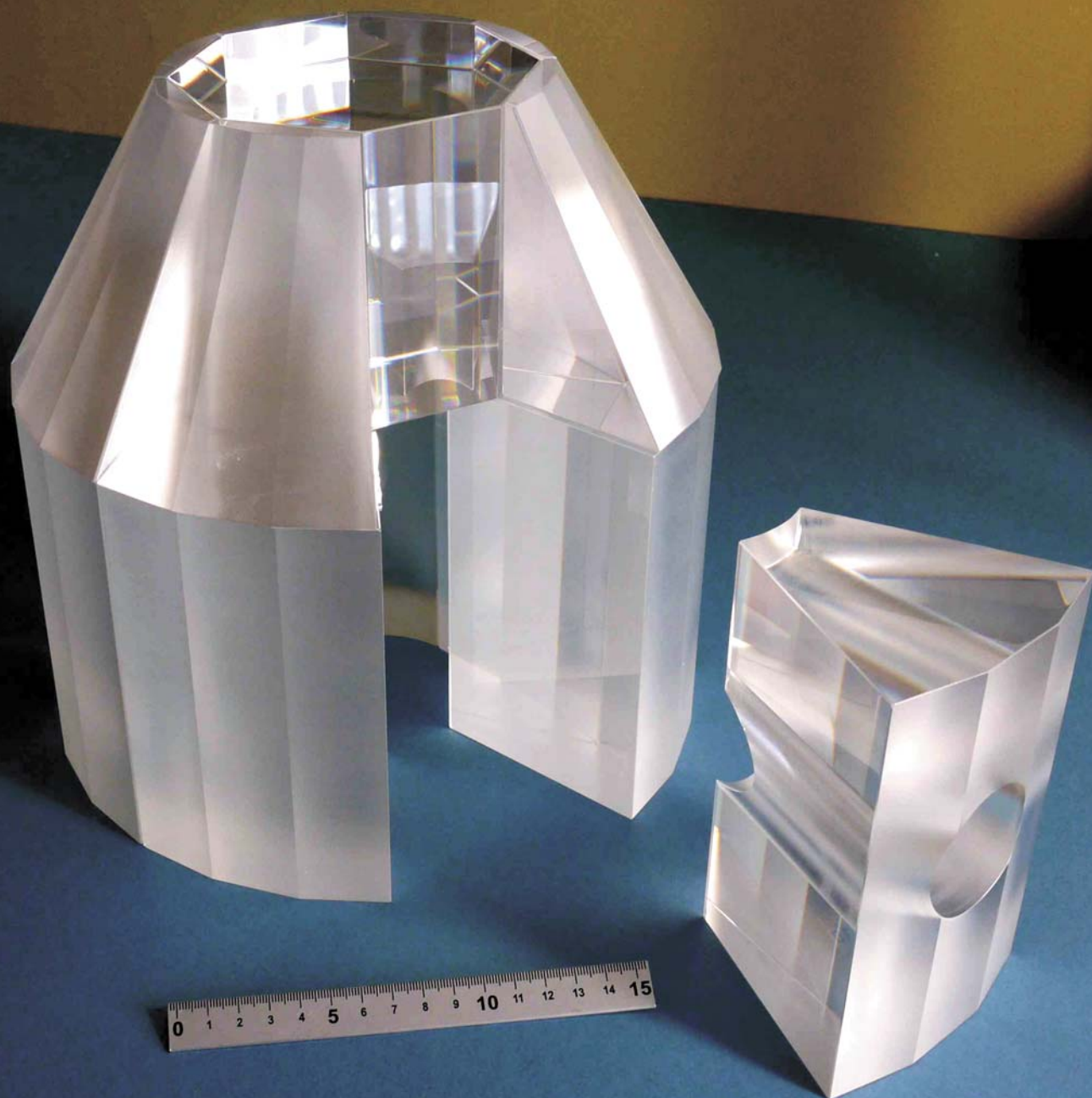
Работа выполнена Н.А. Оськиной и У.А. Боярских (группа фармакогеномики ИХБФМ СО РАН, Новосибирск)

Литература

- Федорова О.С., Коваль В.В. Протемика – высокотехнологичная рыбка // *НАУКА из первых рук*. 2010. №2 (32). С. 84–90.
- Коптюг А.В., Мамонтов Е.В., Суховой Ю.Г. На пути к персонализированной медицине // *НАУКА из первых рук*. 2011. №2 (38). С. 90–97.
- Коптюг А.В., Мамонтов Е.В., Суховой Ю.Г. На пути к персонализированной медицине. Динамическая модель развития опухоли // *НАУКА из первых рук*. 2011. № 6 (42). С. 44–51.
- Лифшиц Г.И., Новикова Я.В. Терапия: персональная доза // *НАУКА из первых рук*, 2010. №2 (32). С. 91–94.
- Сняжков А.Н. Диагноз – дело техники! // *НАУКА из первых рук*. 2007. №5 (17). С. 40–49.
- Чернонос А.А. Красноречивые метаболиты // *НАУКА из первых рук*. 2010. №2 (32). С. 84–90.
- Davies K. *The \$1,000 Genome: The Revolution in DNA Sequencing and the New Era of Personalized Medicine*. New York: Free Press, 2010. 340 p.
- Jain K.K. *Personalized Medicine*. Basel: Jain PharmaBiotech Publications, 2003.
- Jain K.K. *Textbook of Personalized Medicine*. New York: Springer, 2009. 419 p.

ЗА ГРАНЬЮ КРИСТАЛЛА-СЦИНТИЛЛЯТОРА

В. Н. ШЛЕГЕЛЬ



Кристаллы-сцинтилляторы являются главным элементом многих детекторов ионизирующего излучения, которые широко используются в практических приложениях – от геологоразведки до экологии (радиационный контроль) и медицины (ранняя диагностика онкозаболеваний).

Но наиболее значимое применение сцинтилляторы находят в физике элементарных частиц и в ядерной физике. Для точной регистрации частиц с высокой проникающей способностью нужны большеразмерные прозрачные кристаллы из плотного вещества, имеющие совершенную структуру. Выращивать такие кристаллы умеют в новосибирском Институте неорганической химии СО РАН

Многие перспективные направления в науке и технике связаны с применением специальных кристаллов, которые реагируют на частицы ионизирующего излучения вспышками света – сцинтилляциями. На эффекте радиационно-оптического преобразования основана работа сцинтилляционных датчиков, счетчиков и детекторов элементарных частиц. Такие устройства, однако, позволяют решать не только исследовательские задачи в фундаментальных научных проектах (например, в Большом адронном коллайдере), но и прикладные – в самых разных областях.

Так, метод сцинтиграфии в ядерной медицине открывает новые возможности ранней диагностики онкозаболеваний. Приборы радиационной дефектоскопии стали неотъемлемой частью производства оборудования повышенной степени безопасности. Без детекторов на основе сцинтилляционных кристаллов сегодня трудно представить геологоразведку. Кристаллы-сцинтилляторы применяются также в досмотровых системах.

Для точного определения параметров фиксируемой сцинтиллятором частицы необходимо, чтобы кристалл поглотил энергию этой частицы как можно более полно, в идеале все 100 %. Однако существуют частицы, которые легко проходят через любое вещество, т. е. обладают высокой проникаемостью, поэтому для их улавливания нужны кристаллы большого размера. С другой стороны, для точной регистрации световой вспышки необходимо, чтобы фотоны, в каком бы месте кристалла они ни образовались, дошли до фотоприемника без потери энергии, т. е. кристалл должен быть максимально прозрачен для собственного излучения. Чтобы кристалл прослужил долгий срок без деградации (ухудшения оптических характеристик), особые требования предъявляются и к его радиационной устойчивости.

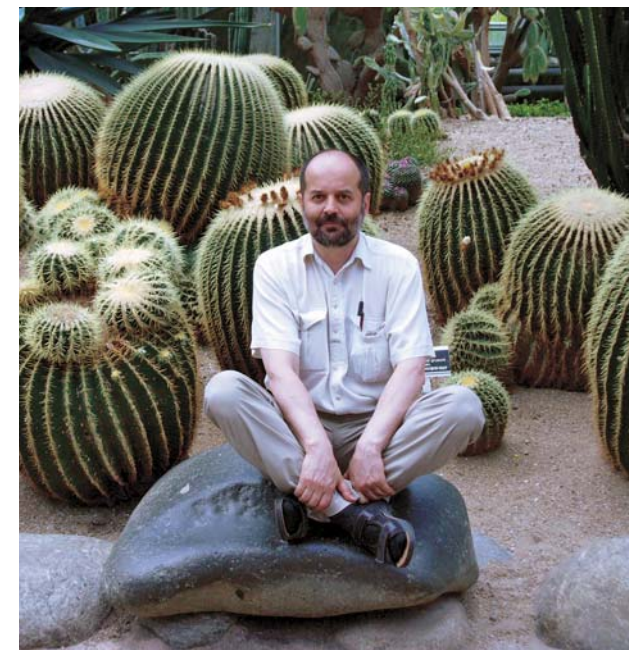
Оболочка из кристаллов BGO (германата висмута) – элементов защиты детектора гамма-спектрометра от внешнего излучения – в процессе сборки

Ключевые слова: выращивание кристаллов, низкоградиентный метод Чохральского, сцинтилляторы.
Key words: crystal growth, LTG Czochralski process, scintillators

Условия мягче – качество лучше

Для получения кристаллов высокого качества требуется решить целый ряд задач. Во-первых, надо приготовить высокочистые исходные компоненты, в которых элементов примеси должно быть менее одного атома на миллион атомов основного вещества. Во-вторых – разработать оборудование, надежно обеспечивающее непрерывный рост кристалла в автоматическом режиме на протяжении многих недель. Необходимо также отладить методику тестирования (оценки качества) кристаллов.

По причине различия физических и химических свойств веществ не существует универсального метода,



ШЛЕГЕЛЬ Владимир Николаевич – кандидат химических наук, заведующий лабораторией роста кристаллов Института неорганической химии СО РАН имени А. В. Николаева (Новосибирск). Автор и соавтор 38 научных публикаций

которым можно было бы выращивать кристаллы любых соединений. Одним из наиболее широко используемых для выращивания кристаллов из тугоплавких материалов является *метод Чохральского*, классический вариант которого был создан в 1916 г. По мере развития технологий он совершенствовался, но главным образом в техническом плане – например, использовались более точные измерительные приборы. При этом сохранялся главный недостаток классического метода – накопление структурных дефектов из-за термических напряжений при кристаллизации из расплава, из-за чего создание качественных кристаллов крупного размера было невозможным.

Более тридцати лет назад этой проблемой заинтересовались в Институте неорганической химии (ИНХ) СО РАН. Там разработали оригинальное ростовое оборудование, в котором использовалась улучшенная теплоизоляция и многоконтурная система нагревательных элементов с гибким регулированием мощности. Благодаря этому температурные градиенты в расплаве и кристалле были снижены по сравнению с традиционным вариантом метода Чохральского на один-два порядка, поэтому модифицированный метод получил название *низкоградиентного*.

Мягкие тепловые условия, поддерживаемые в рабочей зоне установки, способствуют реализации природных особенностей кристалла. В этих условиях, не нарушаемых внешней средой, преобладает послойный механизм роста кристалла, поэтому его ограничение соответствует кристаллографической структуре вещества. Размеры монокристалла при этом ограничиваются только высотой и диаметром тигля с расплавом.

Интересно отметить, что скорость роста кристалла вопреки распространенному мнению отнюдь не пропорциональна градиенту

РОЖДЕНИЕ КРИСТАЛЛА

Изобрести знаменитый метод выращивания кристаллов помогла случайность. В ходе опыта по измерению скорости кристаллизации польский химик Я. Чохральский в тигель с жидким оловом уронил металлическое перо. Вытаскивая его, он заметил, что из расплава за пером тянется тонкая нить застывшего олова. Сделав анализ, ученый обнаружил, что она имеет монокристаллическую структуру. Суть метода Cz (по первым буквам фамилии экспериментатора) состоит в вытягивании кристалла из расплава на маленькую «затравку» из того же материала. Классический вариант метода характеризуется перепадом температур в десятки и сотни градусов на сантиметр. В таких условиях природная способность кристаллов к огранению подавляется – и форма растущего кристалла определяется полем температур. Из-за высокого температурного градиента в кристаллизующемся материале возникают термоупругие напряжения, способствующие дефектообразованию, что ограничивает размер монокристаллов. Недостатком является также улетучивание компонентов расплава из-за локальных перегревов, что приводит к существенным (до 10 %) потерям сырья и декомпозиции расплава



Кристалл германата висмута, выращенный в ИНХ СО РАН низкоградиентным методом Чохральского

Шток затравкодержателя

Нагревательные элементы

Кристалл

Расплав

Электронные весы

Принципиальная схема выращивания кристалла в низкоградиентном методе Чохральского. Рост кристалла начинается с ориентированной затравки небольшого размера при соприкосновении с расплавом. Управляемая система нагревателей поддерживает заданный с высокой точностью профиль температуры, который обеспечивает необходимые условия для формирования кристалла. Для создания условий равномерного роста кристалл медленно вращают вокруг вертикальной оси, постепенно вытягивая вверх. С помощью электронных весов производится непрерывный мониторинг процесса и обеспечивается автоматическое регулирование геометрии кристалла. Оборудование ИНХ СО РАН позволяет получать высококачественные монокристаллы до полуметра в длину и 0,13 м в диаметре

Оптические элементы, изготовленные из кристаллов ВГО (германата висмута) плотностью 7,13 кг/дм³ (сравнимой с удельным весом стали) используются во многих приложениях, в том числе в позитронно-эмиссионных томографах, позволяющих диагностировать онкологические заболевания на ранней стадии

температуры, а определяется только теплофизическими свойствами материала. Это происходит потому, что при малых температурных градиентах кристаллизация происходит в условиях переохлаждения расплава на растущей грани кристалла. В таких условиях скорость роста кристаллов из расплава обычно даже выше, чем в классических вариантах выращивания, и может достигать нескольких мм/час. При этом получение, например, полуметровых кристаллов германата висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ занимает несколько недель.

Первоначально с помощью низкоградиентного метода Чохральского в ИНХ выращивали *лазерные кристаллы** из растворов различного состава. После разработки автоматизированной ростовой установки эта разновидность метода была введена в производство и успешно использовалась для получения оксидных кристаллов более широкого спектра приложений.

Как осветить темную материю

Кристаллы молибдата и вольфрамата цинка (ZnMoO_4 и ZnWO_4) в настоящее время используются в криогенных болометрах, с помощью которых возможно напрямую зарегистрировать частицы «темной материи» – одной из величайших загадок в современной физике. Кандидатами на роль «кирпичиков» этой материи являются массивные элементарные частицы, которые не участвуют в электромагнитном обмене, но при механическом соударении с частицами видимой материи, в том числе с ядрами атомов кристалла, могут отдавать им свою энергию.

Образованные в результате взаимодействия фононы (волны колебаний атомов) беспрепятственно перемещаются в идеальном кристалле и поглощаются металлической пленкой, нанесенной на поверхность кристалла. Так как в болометре поддерживается температура вблизи точки перехода металла пленки в сверхпроводящее состояние (порядка 10 мК), то даже небольшая энергия фонона, повышая температуру пленки, значительно изменяет электрическую проводимость. Таким образом достигается фантастически высокое энергетическое разрешение, а в итоге – точность определения энергии детектируемой частицы.

Используя исключительные особенности низкоградиентного метода, в ИНХ СО РАН впервые удалось вырастить большеразмерные кристаллы высокой степени совершенства с хорошими оптическими и скintилляционными свойствами. Поскольку кристалл является еще и криогенным скintиллятором, то неизбежные ядерные распады примесных элементов в кристалле

* Кристаллы, способные усиливать свет, благодаря чему они используются в качестве активной среды твердотельных лазеров

и всевозможные типы фонового излучения им легко распознаются – и отделяются от событий, связанных с ударами частиц темной материи, которые не сопровождаются вспышками света.

У традиционной, «светлой» материи тоже осталось немало загадок. Не так давно был обнаружен редкий тип ядерных процессов, так называемый 2β -распад. Использование кристаллов-скintилляторов, в составе которых атомы выбранного химического элемента* представлены каким-то одним из 2β -активных изотопов, существенно облегчает изучение этого явления. Благодаря тому, что частицы из распадающихся ядер попадают сразу в скintиллирующую среду, упрощается схема детектора и достигается высокая точность определения их энергии.

Однако производство изотопно-обогащенных кристаллов вольфрамата кадмия из-за присущего классическому методу Чохральского перегрева расплава приводило к значительным потерям ценного сырья в результате испарения. Другой проблемой являлось то, что при повышенных температурах кадмий улетучивался быстрее, чем вольфрам, в результате нарушалась стехиометрия расплава – и получение однородного по составу кристалла становилось невозможным.

Низкоградиентный метод и в этом случае оказался наиболее подходящим. Этим способом в ИНХ были успешно выращены крупные высококачественные кристаллы $^{106}\text{CdWO}_4$ и $^{116}\text{CdWO}_4$. Коэффициент использования сырья (отношение веса кристалла к массе загруженного материала) при этом составил минимум 85 %, а невозвратимые потери в процессе роста – менее 1 %. Эти кристаллы сейчас тестируются в Национальной лаборатории Гран Сассо (Италия) для исследования процессов ядерного 2β -распада.

Последние десятилетия в ИНХ СО РАН проводятся систематические исследования закономерностей роста кристаллов в условиях низких градиентов температуры. Обобщение накопленной информации позволило приблизиться к детальному пониманию многих вопросов кристаллизации и на этой основе создать устойчивое производство ряда кристаллов.

Помимо уже упомянутых скintилляционных кристаллов, в институте производят большеразмерные кристаллы для лазерной оптики, содержащие редкоземельные металлы. Все кристаллы имеют наивысшие показатели качества, в том числе и при сравнении с соответствующей продукцией ведущих зарубежных фирм. Так, благодаря уникальной комбинации размеров

* В списке 2β -активных элементов наиболее пригодными для изучения скintилляционным методом считаются кальций, кадмий, молибден и др.

Кристаллы вольфрамата цинка, выращенные в ИНХ СО РАН низкоградиентным методом Чохральского имеют рекордный вес и показывают уникальные оптические свойства в сравнении с выращенными в традиционных условиях. Используются как материал для криогенного болометра (детектора ионизирующих частиц, работающего при сверхнизких температурах) в экспериментах по обнаружению «темной материи» и многих других приложениях.

На фото – кристаллы весом до 7,4 кг

и свойств кристаллов серии ВГО, произведенных в Новосибирске, их потребителями стали многие научные центры мира. Среди них Окриджская и Лос-Аламосская национальные лаборатории США, ядерный центр КЕК в Японии, подземная лаборатория Гран Сассо в Италии, институты Общества научных исследований имени Макса Планка в Германии. На регулярной основе ведутся поставки кристаллических изделий для позитронно-эмиссионной томографии в компанию GE Medical Systems (США) и другие приборостроительные фирмы.

В настоящее время предъявляются все более высокие требования к функциональным материалам, в том числе и к кристаллам. Ежегодно предлагаются сотни веществ, потенциально перспективных в качестве скintилляторов, но на практике реализуется менее 1 % из них, остальные же отсеиваются из-за дороговизны сырья, отсутствия необходимых технологий переработки и по разным другим причинам. Используя уникальные возможности метода выращивания кристаллов при низких градиентах температуры, в ИНХ совместно с другими институтами СО РАН ведется поиск новых неорганических соединений с подходящими характеристиками для различных приложений.



Кристалл $^{116}\text{CdWO}_4$ (вольфрамата кадмия с обогащением изотопом Cd-116) весом около 2 кг выращен в тигле диаметром 70 мм и предназначен для изготовления скintилляционного детектора для изучения процесса 2β -распада

Литература
Скintилляционные материалы. Инженерия, устройства, применение. Харьков: ИСМА, 2011. 320 с.

В публикации использованы фото автора и к. х. н. Я. В. Васильева (ИНХ СО РАН, Новосибирск)

Н. П. КОПАНЕВА

Степан Петрович Крашенинников: 25 773 версты по Сибири и Камчатке

300-летие со дня рождения Степана Петровича Крашенинникова прошло в 2011 г. почти незамеченным. Вряд ли это связано с тем, что внимание научной общественности было отвлечено на юбилей М. В. Ломоносова. Многие до сих пор считают, что Крашенинников родился в 1713, а не в 1711 г. Белых пятен в биографии замечательного русского исследователя остается немало. Труд С. П. Крашенинникова «Описание Земли Камчатки» был первым произведением на русском языке, в котором одна из территорий Российской империи была описана автором по собственным наблюдениям и исследованиям всесторонне: природа, минералы, географическое расположение населенных пунктов, течения рек, обычаи и языки народов, населяющих Россию, история обследуемых территорий. В XVIII в. «Описание Земли Камчатки» было столь популярно, что издавалось не только на русском, но и на английском, немецком, французском языках, а к иллюстрированию изданий привлекали самых известных художников и граверов

Крашенинников Степан Петрович (1711—1755), путешественник, исследователь Камчатки, академик Петербургской Академии наук. Гравюра пунктиром А. А. Осипова. 1801 г.

С. Крашенинниковъ.



Впутевом журнале С. П. Крашенинников подсчитал, что за время работы в составе Второй Камчатской экспедиции он проехал 25 773 версты (С. П. Крашенинников в Сибири, 1966, с. 196—224), что составляет примерно 27 500 км. Правда, подсчет верстам Крашенинников начал не с 1733 г., когда отправился во Вторую Камчатскую экспедицию, а с 1735 г., от Аргунских серебряных заводов, и завершил в 1742 г. — Верхотурьем, не включив путь в Петербург. Да и поездки по Сибири, по мнению Н. Н. Степанова, были учтены не все. Но и этот путь с учетом того, что было сделано С. П. Крашенинниковым, впечатляет. Из работ ученого широко известно его «Описание Земли Камчатки». Но есть еще рапорты «студента Крашенинникова», которые он посылал профессорам И. Г. Гмелину и Г. Ф. Миллеру, а также его письма им, которые введены в научный оборот, но, к сожалению, не оценены еще в должной мере. Прожив всего 44 года, из которых полевым исследованиям и науке были посвящены 11 лет, Крашенинников сделал столь много для российской науки, что слово «первый» подходит к характеристике многих его исследований. Так, известный российский ученый Лев Яковлевич Штернберг назвал Крашенинникова «Нестором русской этнографии» (Штернберг Л. Я. Первобытная религия в свете этнографии, 1936, с. 54).

Служил Академии «честно и беспорочно», «со всякою верностью и радением»

Основными источниками сведений о жизни С. П. Крашенинникова являются его автобиография, написанная между 25 февраля и 2 марта 1754 г., предисловие Г. Ф. Миллера к русскому изданию «Описания Земли Камчатки», которые могут быть дополнены сведениями из «Опыта исторического словаря о российских писателях» (1772 г.) Н. И. Новикова. Большое значение имеют сохранившиеся академические служебные документы, рапорты, письма и другие работы С. П. Крашенинни-

кова. К сожалению, неизвестна точная дата рождения ученого: А. И. Андреев убедительно доказал, что Степан Петрович Крашенинников родился в октябре 1711 г., а не в 1713 г., как это считалось ранее (Андреев, 1939). Точнее дату рождения русского естествоиспытателя ученые затрудняются назвать. Вот что Крашенинников сам счел возможным написать в автобиографии:

«Я, нижеименованный, обучался в Московской иконоспаской школе с 1724 по 1732 год, в которых последних двух годов получил по сороку алтын на месяц, а до того по тридцати алтын. В исходе 1732 году указом Правительствующего Сената взят в Санктпетербург в Академию наук, где обучался по августу месяца 1733 году, а в августе месяце отправлен студентом при академической свите в Камчатскую экспедицию с жалованьем по сту рублей на год, из которой возвратился в Санктпетербург 1743 году в феврале месяце и получил на первой случай прибавки жалованья еще сто рублей, которая по представлению канцелярии Академии наук указом сенатской конторы еще в 1738 году определена была. В 1745 году по достоинству Академии наук и по представлению канцелярии указом правительствующего Сената в небытность президента пожалован в адъюнкты с жалованьем по 360 руб[лей] на год, а в 1750 году по усмотрению его высокографским сиятельством Академии наук господином президентом графом Кирилою Григорьевичем Разумовским трудов моих в моей должности определен в профессоры с жалованьем по 660 руб[лей] на год, в котором чину и окладе нахожусь и поныне, а оный оклад определен по академическому штату отпорованному от ее императорского величества; от роду мне сорок третий год, детей мужеска полу сын Василий осьми месяцев, а крестьян за мною не имеется. К сей скаске Академии наук профессор Степан Петров сын Крашенинников руку приложил» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 545).

В дополнение к сказанному, от Г. Ф. Миллера узнаем, что Крашенинников был уроженцем Москвы, а от Н. И. Новикова — что отцом его был солдат

Ключевые слова:

С. П. Крашенинников, Вторая Камчатская экспедиция, история Сибири.

Key words:

S. P. Krasheninnikov, the Second Kamchatka expedition, history of Siberia

КОПАНЕВА Наталья Павловна —

кандидат филологических наук, старший научный сотрудник Отдела истории Кунсткамеры и отечественной науки XVIII в. (Музей М. В. Ломоносова) Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН (Санкт-Петербург). Научный руководитель и сокоординатор международных программ «Петр Великий и Голландия», «„Нарисованный музей“ Петербургской Академии наук», «Николаас Витсен. „Северная и Восточная Тартария“»





Фрагмент карты полуострова Камчатка из русского издания 1755 г. книги С. П. Крашенинникова

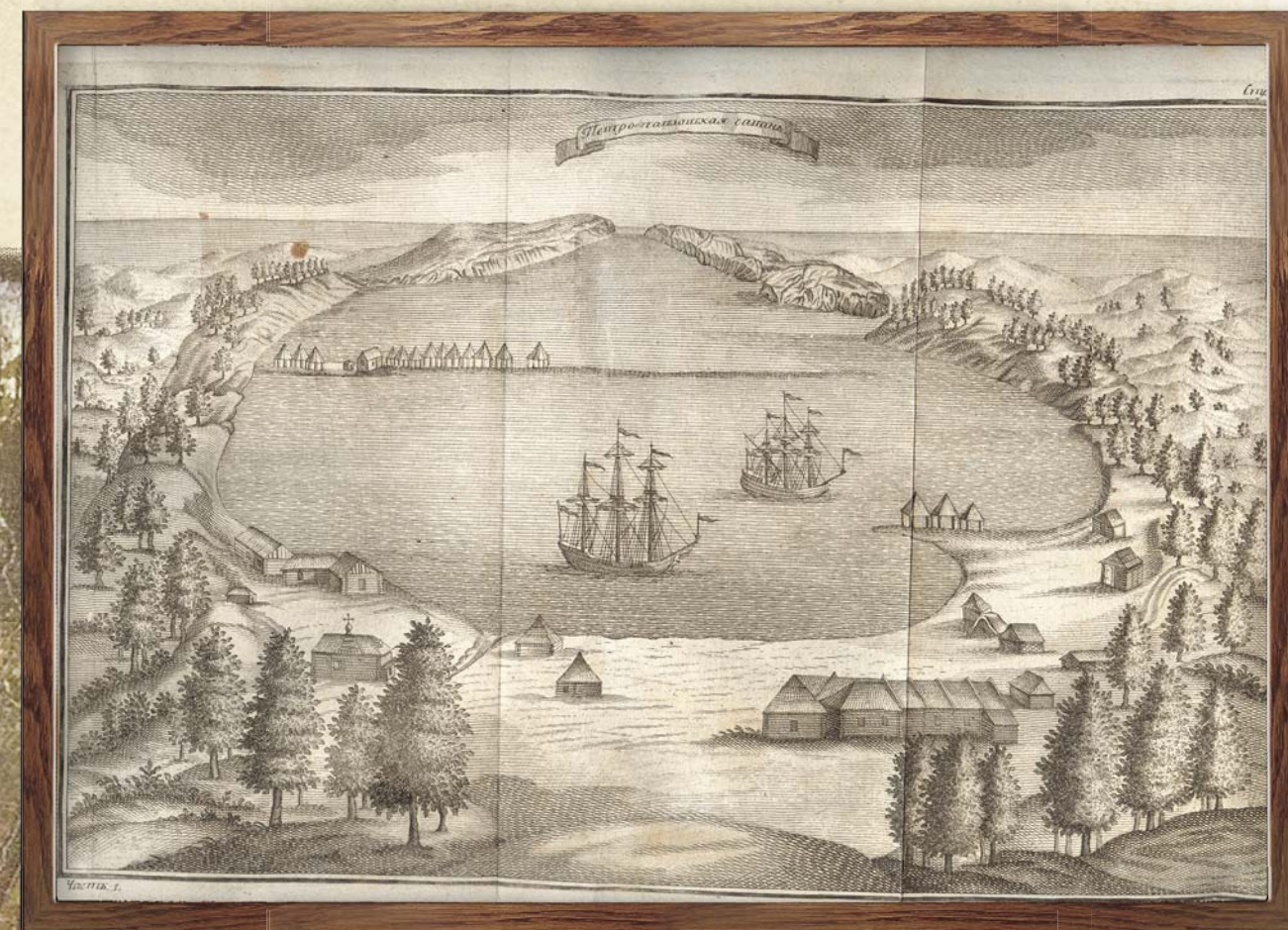
Петропавловская гавань. Гравюра из русского издания 1755 г. «Ниакина губа, которая от зимовавших в ней двух пакетботов Петра и Павла называется ныне Петропавловскою гаванью, лежит к северу, и так узка, что суда на берегах прикреплять можно, но так глубока, что в ней способно стоять и таким судам, которые пакетботов больше, ибо глубиною она от 14 до 18 футов». По: (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки. СПб., 1994. Т. 1. С. 36—37)

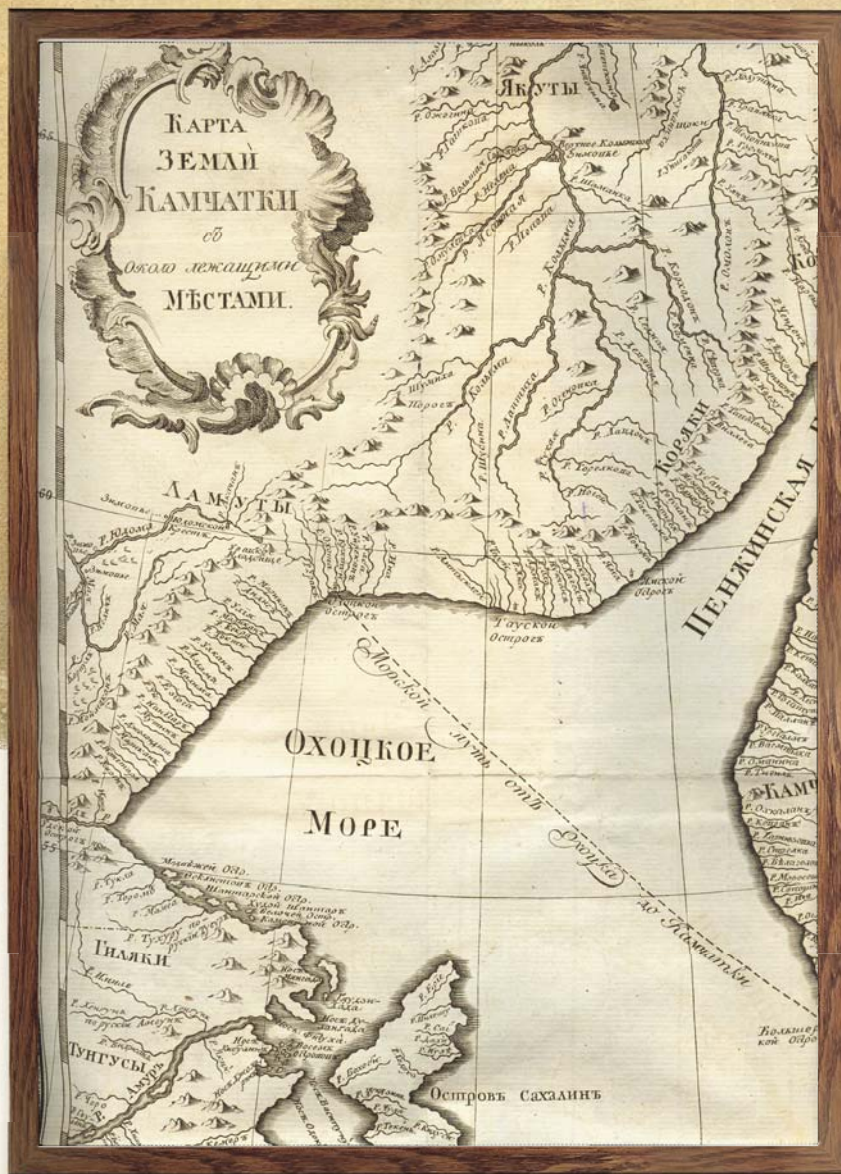
Преображенского полка. 21 августа 1741 г. в Якутске в соборной церкви С. П. Крашенинников обвенчался с дочерью тобольского дворянина Степанидой Ивановной Цибульской (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 640). Жена Крашенинникова приходилась племянницей якутскому воеводе Д. И. Павлуцкому, имя которого часто упоминается Степаном Петровичем в его рапортах с Камчатки. После возвращения в 1743 г. из экспедиции ученый, собравший и исследовавший богатейший материал по Камчатке, все еще числился в Академии наук студентом и лишь 22 июня 1745 г. был избран адъюнктом и прикомандирован к академическому ботаническому саду, который находился в то время на Васильевском острове

и которым Крашенинников заведовал до 1749 г. В эти годы он по поручениям академического руководства выполнял самую разную работу: разбирал и описывал бумагу умершего в экспедиции Г. Стеллера; переводил с латинского на русский «Флору Сибири» И. Г. Гмелина, книгу Квинта Курция «О делах Александра Македонского» (опубликован в 1750—1751 гг.), а также приводил в порядок свои камчатские материалы. 11 апреля 1750 г. ученый был назначен профессором натуральной истории и ботаники и членом Академического и Исторического собраний: «понеже адъюнкт Степан Крашенинников, служа при Академии честно и беспорочно, через долгое время отправлял все положенные на него должности со всякою верностью и радением и был

в путешествии камчатском один из российских ученых людей, которое отправил с немалым успехом к пользе императорской Академии наук и к чести своей, сверх же того в науках, а особливо в истории натуральной и ботанике, непостыдное в ученом свете искусство приобрел и притом поступками своими оказал, что прилежный, кроткий и постоянный человек, чем всем себя удостоил имени и содержания профессорского» (Материалы для истории Императорской Академии наук, 1900, с. 381). 18 июня 1750 г. Крашенинников был назначен ректором академических университетов и гимназий. Скончался С. П. Крашенинников 25 февраля 1755 г. в крайней нужде, которая, впрочем, сопровождала его на протяжении всей жизни: денег не хватало и «на необходимое с домашними пропитание», и на «медикаменты из аптеки». На следующий день после смерти Крашенинникова вдова ученого, Степанида Ивановна, писала в Академию о том, что она осталась «с шестью малолетними сиротами <...> в таком состоянии, что <...> и тело его [мужа] погresti нечем» (Андреев А. И. Жизнь и научные труды, 1939, с. 54—55). Академия выделила семье

Крашенинникова его годовое жалованье в размере 660 рублей, 100 рублей на погребение и жалованье за январскую треть 1755 г. – всего 858 рублей 01 копейку. За выплату годового жалованья Степанида Ивановна Крашенинникова обязана была отдать в Академию библиотеку ученого, рукописи и коллекцию семян, что она и выполнила. Библиотека Крашенинникова включала в себя 152 тома книг (122 названия). В подавляющем большинстве это были издания на латинском языке. То, что библиотека Крашенинникова была невелика, ее исследователи объясняют все тем же безденежьем академического профессора (Фундаминский М. И. Библиотека академика С. П. Крашенинникова, 1983, с. 144). Положение семьи покойного Крашенинникова, видимо, было столь вопиюще, что поэт и драматург А. П. Сумароков даже неоднократно писал об этом в своих произведениях. В 1760 г. он написал «Цидулку к детям покойного профессора Крашенинникова» («Несчастливого отца несчастнейшие дети») и упоминал о детях С. П. Крашенинникова в комедии «Опекун».





Фрагмент «Карты Земли Камчатки с около лежащими мѣстами». Из русского издания 1755 г.

Охотский порт. Гравюра из русского издания 1755 г. «Сие место называется Охотским портом, а в просторечии Ламою, и имеет в своем правлении Камчатку и берега Пенжинского моря по Китайскую границу». По: (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки. СПб., 1994. Т. 1. С. 90)

«Первое начало самостоятельной научной работы русского общества»

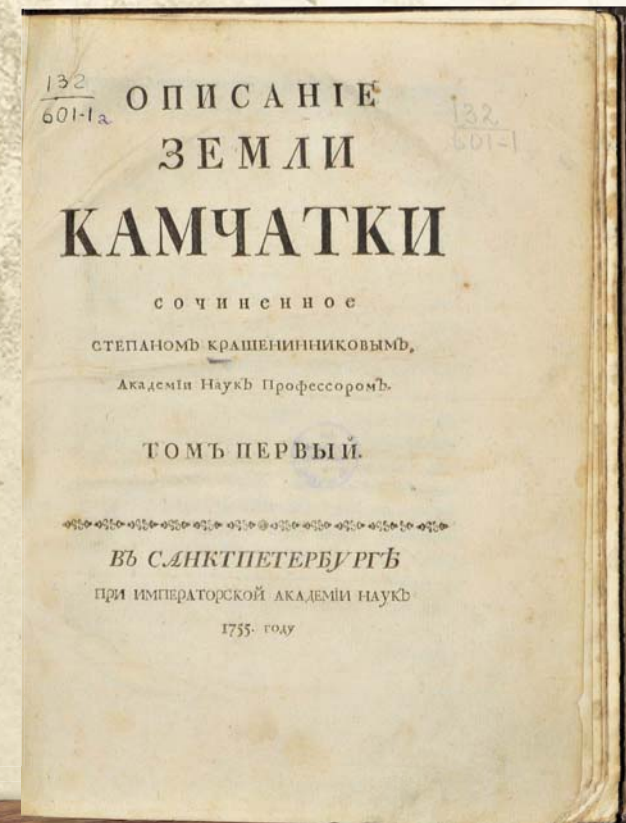
В. И. Вернадский считал 1737 год, «когда Крашенинников отправился самостоятельным ученым на Камчатку», памятным годом в истории русской культуры: «Это было первое начало самостоятельной научной работы русского общества» (Первые годы Академии наук // Природа. 1973. № 9. С. 63). А.И. Андреев пребывание и работу С.П. Крашенинникова в составе Камчатской экспедиции разделил на три периода: с 1733 по 1737 гг., когда он под руководством И. Г. Гмелина занимался изучением природных условий тех мест, где проходила экспедиция; с 1737 по 1740 гг. Крашенинников на Камчатке, куда был отправлен профессорами для

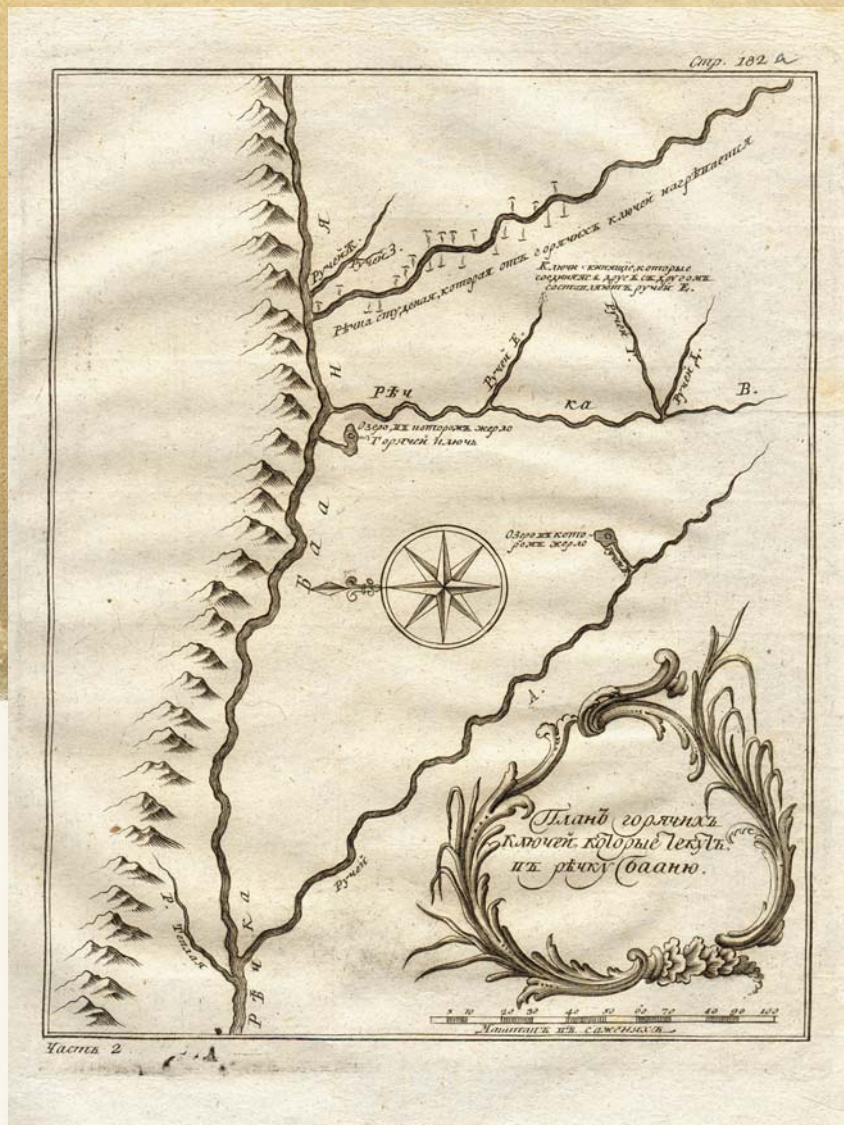
«чинения там всяких обсерваций и исследований»; с 1741 по 1742 гг. в Иркутске занимался организационными вопросами по получению денег и припасов для участников экспедиции (Андреев А. И. Жизнь и научные труды, 1939, с. 8). То есть с 1737 по 1740 гг. Крашенинников фактически самостоятельно занимался экспедиционной работой на Камчатке. Конечно, у него были инструкции от профессоров, он в свою очередь писал им рапорты и письма и получал в ответ разные рекомендации. Но жизнь, да еще в условиях неизведанных земель, сложна и непредсказуема и не подчиняется письменным инструкциям академиков, которые так и не побывали на Камчатке и знали об условиях работы там только по отчетам «студента» Крашенинникова.

5 июля 1737 г. С. П. Крашенинников отправился из Якутска на Охотск, в котором пробыл с 20 августа

по 4 октября. Начало самостоятельной работы было отмечено описанием пути, наблюдениями приливов и отливов, составлением списков встречаемых животных. Здесь же молодой исследователь записал слова ламутского языка и описал ламутов. От Охотска на судне «Фортуна» отправились на Камчатку. Благополучно начавшееся плавание чуть было не закончилось гибелью находившихся на нем людей (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 555). Корабль стал тонуть, и чтоб спастись, команда стала сбрасывать в море имевшийся на судне груз, в том числе экспедиционные и личные вещи Крашенинникова. Лишился он писчей бумаги, части данных ему семян для разведения растений, чемодана со своими пожитками. К тому же Крашенинников и находящийся с ним «пищик» от морской болезни «почти бесчувственны были». На Камчатку у устья Большой реки Крашенинников прибыл 14 октября 1737 г. До Большерецкого острога добрались только 22 октября, так как пришлось прожить у моря «за неимением богов» (С. П. Крашенинников в Сибири,

Титульный лист первого тома книги «Описание Земли Камчатки / Сочиненное Степаном Крашенинниковым, Академии наук профессором». СПб.: При Имп. Акад. наук, 1755





«План горячих ключей, которые текут в речку Бааню». Гравюра из русского издания 1755 г. «Камчадалы (...) все горячие ключи так как и огнедышащие горы почитают за бесовское жилище, и близко к ним подходить опасаются... Чего ради и никому из россиян об них не объявляют». По: (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1755. Т. 1. С. 185)

«Камчатская огнедышащая гора». Гравюра из русского издания 1755 г. «Верхняя часть составляет целую треть высоты ее, а окружность ее на подножье больше трехсот верст. Шатер ее весьма ... Крут и со всех сторон рощелялся вдоль до самого тощего нутра ее. Самой верх ее от часу становится плеще, без сумнения для того. Что во время пожара жерло по краям осыпается... Дым из верху ее весьма густой идет беспрестанно, но огнем горит она в сем, в восемь, в десять лет; а когда гореть начала, того не запомнят. Пепел выметывается из ней по объявлению жителей на каждой год по два и по три раза, и иногда в таком множестве, что верст на 300 во все стороны земля им на вершок покрывается». По: (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки. СПб., 1994. Т. 1. С. 174—175) ▶

1966, с. 201). Так началась Камчатская экспедиция Степана Петровича Крашенинникова.

Чтение рапортов и писем Степана Петровича – занятие столь интересное, что часто даже забываешь, что читаешь отчет, а не литературное произведение. И прежде всего поражает, как этот человек все успевал. Несомненно, Крашенинников обладал недюжинными способностями организатора. Он вовлекал в круг своей деятельности служивых и местных жителей, писал им инструкции, легко ориентировался в довольно сложных ситуациях, умел быстро принимать решения. Так, отправляясь из Большерецкого острога в Нижний и Верхний Камчатские остроги Крашенинников в рапорте 18 августа 1739 г. сообщал: «В путь с собою беру я двух человек служивых, толмача да кузнеца, который

определен по требованию моему, быть в Верхнем остроге для починки топоров, и для кованья потребных на строение хором [для Гмелина и Миллера, которые намеревались приехать на Камчатку, но так и не побывали там – Н.К.] припасов <...> В остроге оставляю я пищика Аргунова, служивого Бочкаря да определенных к чинению метеорологических обсерваций служивого Ивана Пройдошина да казачья сына Ивана Пашкова, которой по требованию моему, как грамоте отчасти умеющей, определен в помощь Ивану Пройдошину вместо служивого Никифора Саламатова. Пищику Аргунову приказано сыскивать травы и собирать все семена посаженных в огороде трав и быть при смотреии оставленных здесь казенных вещей» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 598).

Если профессор Гмелин в экспедиции занимался естественнонаучными наблюдениями, а профессор Миллер изучал историю, быт и жизнь местных народов, то студент Крашенинников должен был на Камчатке делать все сам: обеспечивать условия для жизни; собирать вещи для императорской Кунсткамеры; вести метеорологические наблюдения; изучать животных, растения, минералы; вести лингвистические и этнографические исследования; читать документы в местных архивах, где они были, чтобы выписывать сведения по истории Камчатки и так далее, и так далее. И все эти исследования нужно было регулярно записывать да еще писать отчеты для профессоров. При этом условия для такой деятельности были не только тяжелыми, но часто просто опасными для жизни. Опасными были и суровые погодные условия, и столкновения с порой воинственно настроенными местными народами. Так, отправив в январе 1741 г. служивого Михаила Лепехина на «Пенжинский берег» на поиск оленних коряков, Крашенинников вслед ему отправил ордер, чтоб тот немедленно возвращался. Причиной тому было полученное 13 января «известие, что изменили на Пен-

жинском море на Утколоке реке ясашные иноземцы и посланного для собрания подвод матроза да при нем служивого и толмача, новокрещенных двух человек, да служивого Анадырского острога, там случившегося, декабря около 6 дня убили и матрозскую голову на кол взоткнув, шаманили над нею <...> В то же время на Покагирной реке подкагиринские сидячие коряки побили купецких людей Онисима Балина со товарищи» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 630). Так что проводимые исследования были не только тяжелыми, но могли стоить жизни академическому путешественнику и его помощникам.

Помимо изучения и географического описания островов, кочевий, рек, озер, сопок, возможных путей передвижения С. П. Крашенинников, как уже было сказано, занимался самыми разными исследованиями. Одной из его задач были ботанические исследования. Он выращивал в условиях Камчатки разные огородные культуры – репу, редьку, горох, ячмень, – наблюдал за их ростом и писал о результатах Гмелину: «О ячмене, который был посеян в огороде, доношу вашему благородию, что он почти весь было налился, но токмо



438 ОПИСАНИЕ КАМЧАТКИ

Въ сполбѣ А содержится нарѣчіе сѣверныхъ Камчадаловъ, б южныхъ, а въ сполбѣ В живущихъ отъ Воровской рѣки на сѣверѣ почти до Тигиля. При чемъ надлежитъ вѣдать, что г сѣ палочкою на верху какъ Лапинское г произносите надобно.

Собрание словъ разныхъ Камчатскихъ нарѣчій.

	А	Б	В
Богъ	Купъ	Купхай	Купха.
Дьяволъ	Кана	Кана	Ткана.
Небо	Когалъ	Кохалъ	Кѣиссѣ.
Облака	Гуренгуръ	Уйшаа	Мыйжа.
Вѣтръ	Шапсѣ	Чихуча	Кѣипкѣ.
буря	Какалпъ	Чихучу	Чухучу.
Дождь	Корбѣ	Кѣлаалъ	Кѣлаалъ.
Снѣгъ	Какумчѣ	Коада	Коалас.
Градъ	Кѣхкыгъ	Кѣхкыгъ	Кѣхкыгынъ.
Громъ	Амронщина-чичъ	Умечкыши	Мышкыши-гына.
Молнія	Галѣнъ-кулсѣ	Коаъ	Лачъ.
Солнце	Гуинганъ-ку-лѣчъ	Коаъ	Лаилыгынъ.
Луна	Ежѣнгынъ	Ашангыпъ	Агажинъ.
Звѣзда	Таажъ	Кусгалъ	Кулалла.
День	Куннукъ	Кулука	Кунку или Лехуогуна.
Ночь			Упро

«Собрание слов разных Камчатских наречий». Из книги С. П. Крашенинникова «Описание Земли Камчатки»

ранними морозами его побило, а горох начал цвести сентября 5 дня, а стручков на нем не было, ибо он не успел отцвести, а снега уже и пали; репа была в диаметре дюймов 3, только мало, ибо семена не очень хороши были, а у некоторых жителей дюйма в 4 и больше видел» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 580).

Изучение местных народов было важнейшей задачей Крашенинникова, с которой он блестяще справлялся. Он не только записывал то, что видел и слышал, но специально создавал ситуации, которые позволяли ему фиксировать обычаи и обряды. В рапорте от 5 августа 1739 г. Крашенинников писал: «В нижней Камчатской острог возвратился я февраля 22 дня. Того же дня присланы ко мне от приказной избы два тоиона укинские Начика да Коричъ да шаман Карымчлячъ, чрез которых написал и слова их языка, спрашивал о их вере и прочих поведеньях справлялся, прямо ли сказывали служивые про впадающие в Восточное море реки и речки. А шамана при себе два раза заставлял шаманить, о чем о всем явствует в Описании Камчатской землицы. У помянутого шамана купил я бубен, а дал ему за оной табаку четверть фунта, также и двум тоионам, которые издалека привезены» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 590). Для приобретения предметов одежды приходилось не только покупать то, что было, но и специально заказывать

«Камчадалка с детьми и в уборном платье». Гравюра из русского издания 1755 г.



«Камчадалы, достающие огонь из дерева». Гравюра из русского издания 1755 г.

«Огнива их были дощечки деревянные из сухого дерева, на которых по краям наверхены дирочки, да кругленткие из сухаго ж дерева палочки, которые вертя в ямочках огонь доставали».

По: (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки. СПб., 1994. Т. 1)



их изготовление для императорской Кунсткамеры. Вот один такой случай: «прошедшего еще 1737 году ноября 4 дня требовано от Большерецкой приказной избы, чтоб приказано было ясачным иноземцам принести ко мне [Крашенинникову] для продажи самое лутшее платье муское и женское и ребячье, ежели в нем, кроме величины, есть какая отмена, и по силе оного требования ныне ко мне прислана только одна бабья куклянка да хоньбы старые, на которое и смотреть мерзко, не токмо послать в ее императорского величества Кунсткамеру; а муское платье, также и торбасов женских и муских и штанов не прислано» (С. П. Крашенинников. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 590). Тогда Крашенинников потребовал послать людей на Авачу, чтоб в иноземческих острожках выбрать лучшее платье, а если нет, «то нарочно шить велел» (С. П. Крашенинников. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 572). Для сбора этнографического и лингвистического материала основным методом был опрос местного населения. Но для того, чтобы местное население откликнулось на вопросы исследователя, необходимо было завоевать доверие людей. Видимо, деликатный и скромный Степан Петрович быстро находил с ними общий язык. Во втором томе «Описания Земли Камчатки» есть тому интереснейшее подтверждение. Описывая танцы и пение камчадалов, Крашенинников пишет, что «пение не неприятно: ибо в нем ничего дикого не примечается». Правда, в «материи песен нет никаких замыслов, токмо одни простые понятия о вещах, которые им странными кажутся или смешными» (С. П. Крашенинников. Описание Земли Камчатки, 1994, т. 2, с. 113). В качестве примера он

приводит нотную запись и слова песни на местном наречии и в переводе на русский, которую «девки и бабы» пели про него и его товарищей: полковника Мерлина и майора Павлуцкого. Вот отрывок из этой песни на русском языке:

*Ежели б я был Студент, то б описал всех девок,
Ежели б я был Студент, то бы описал быка рыбу,
Ежели б я был Студент, то бы описал всех морских чаек,
Ежели б я был Студент, то бы поспинал все орлиные гнезда,
Ежели б я был Студент, то бы описал горячие ключи,
Ежели б я был Студент, то б описал все горы,
Ежели б я Студент был, то б описал всех птиц,
Ежели б я Студент, то б описал все морские рыбы.*

Если бы «студент», то есть Крашенинников, не вызывал симпатии у «девок и баб», вряд ли они пели бы песню «о действиях и обстоятельствах», хоть и «без всякого складу».

27 сентября 1740 г. в Большерецкий острог прибыли профессор Делиль де ла Кройер и адъютант Г. Стеллер. В письмах Степана Петровича Гмелину и Миллеру нет ни жалоб на новое положение, ни описаний обид. Но совместная работа началась с того, что Делиль де ла Кройер выселил Крашенинникова из избы, которую тот построил для себя на свои средства. Более того французский профессор занял под свои нужды и казенные помещения: «Господин профессор ла Кроер по прибытии своем в Большерецкой острог стал в моей избе, которую я своим коштом строил, и за оную по его требованию выданы мне из казны деньги, во что она мне стала, причем и казенный анбар, строенный для гиэтометра и эскатмоскопа, под себя занял, которой в ту

пору еще не совсем отделан был» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 619). Деньги за избу, конечно, вернули, но Крашенинников вынужден был искать себе новое жилье.

Все собранные материалы, наблюдения, исследования Степан Петрович должен был отдать адъютанту Стеллеру, в подчинение которого он поступал. Так студент Крашенинников перестал быть самостоятельным исследователем и должен был выполнять поручения и инструкции приехавшего адъютанта. Такое положение длилось недолго: в марте 1741 г. Стеллер отправил Крашенинникова в Иркутск для получения жалованья, причитающегося ему и Де ла Кройеру. На Камчатку Крашенинников больше не вернулся. Из Иркутска он отправился в Якутск, а оттуда был вызван в Тобольск, потом в Верхотурье к Миллеру. В 1743 г. С. П. Крашенинников вместе с другими членами академического отряда Камчатской экспедиции вернулся в Петербург.

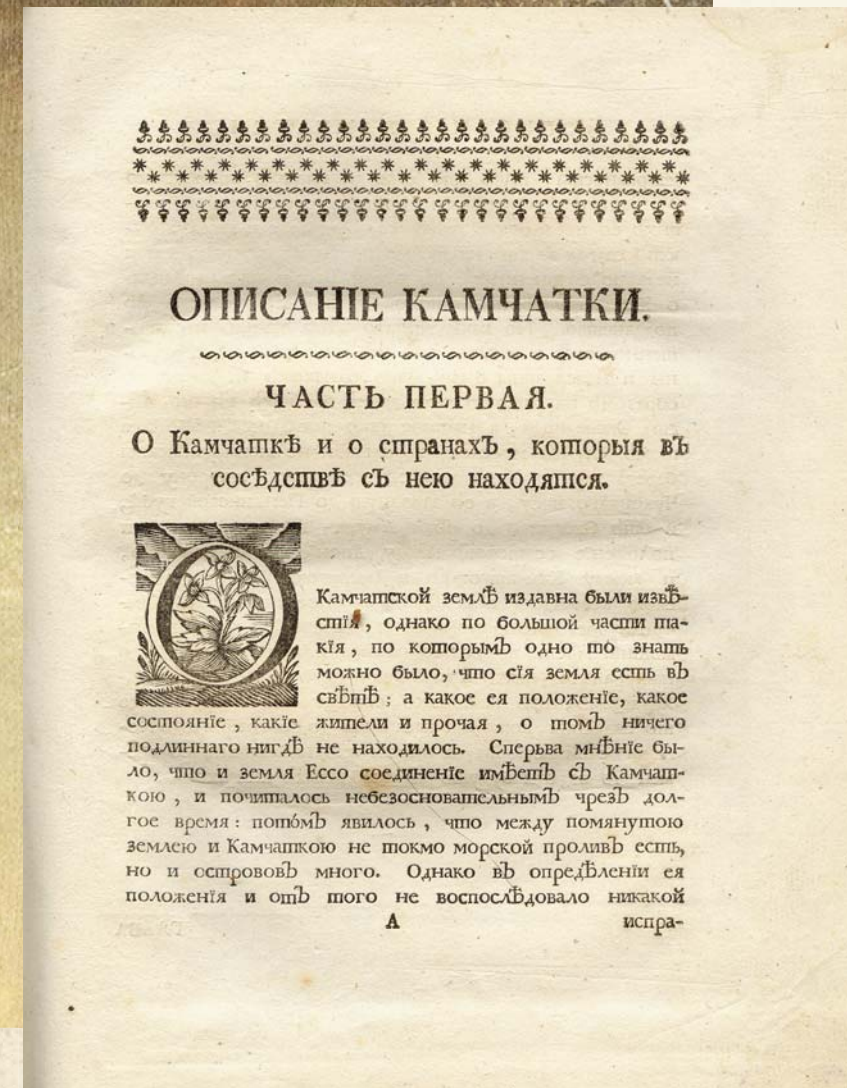
«Первая в истории России научная академическая монография»

При рапортах С. П. Крашенинников отправлял профессорам результаты своих наблюдений и исследований: в 1737 г. – перечень пеших тунгусов или ламуток; путевой журнал от Якутска до Охотска; наблюдения прилива и отлива морской воды в реке Охоте; описание морских уток «по сказыванию ламутскому»; в 1738 г. – описание камчатского народа, материалы «о завоевании Камчатской земли»; реестр зверям, птицам и рыбам с «русскими, ламутскими, камчатскими и коряцкими именами»; о курилах; описания рек, путей и т. д. Но основным его трудом стала подготовка к изданию книги «Описание Земли Камчатки».

Петербургская Академия наук, которая обязана была иметь приоритет в сообщении ученому свету новых све-

Гравюра из русского издания 1755 г.:

1. Жир парят из рыбы каленым камнем в лодках.
2. Рыбу пластают и чистят.
3. Рыбу вывешивают.
4. Ходят на лодках вверх по рекам и вниз плавают.
5. Собакам и себе есть варят.
6. Зимняя юрта.
7. Балаганы.



Первая часть «Описания Земли Камчатки» С. П. Крашенинникова. СПб., 1755

и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию». Говоря, что «разные животные и птицы могут служить вестниками или в пути показателями; например, когда покажется рыба или птица, при камчатских берегах или около Чукотского носу обыкновенная, а в Северном океане редкая или неизвестная, знаком служить будет близости к Чукотскому носу», Ломоносов заметил, что для этого будет полезна работа профессора Крашенинникова «Описание Земли Камчатки».

Миллер написал отзыв основательный, на четырех листах, с большим числом разных замечаний. Особую позицию Миллер занял и в 1752 г., когда рассматривалось продолжение труда Крашенинникова. По решению Исторического собрания исследователь вносил правку в рукопись. И отзывы Миллера, и характер исправлений Крашенинникова подробно рассмотрены в уже упоминавшейся работе Н. Н. Степанова. Рукопись Крашенинникова с замечаниями на полях Ломоносова, с правкой автора хранится сейчас в СПФ АРАН (Р. II. Оп. 1. Д. 228). До 1938 г. местонахождение ее было неизвестно («не отыскана»). В библиотеке Пулковской обсерватории ее обнаружил директор Архива АН СССР Георгий Алексеевич Князев и архивист, историк Лев Борисович Модзалевский. Поскольку Георгий Алексеевич строго придерживался принципа «концентрации» архивного материала, то рукопись была переправлена в академический Архив. Неизвестно, какая судьба ждала бы ее во время Великой Отечественной войны...

Книга С. П. Крашенинникова «Описание Земли Камчатки» вышла в свет уже после смерти

дений, полученных в экспедициях, торопила и С. П. Крашенинникова, и Г. Ф. Миллера с публикацией их материалов. В 1750 г. из академической типографии выходит «Описание Сибирского царства и всех произшедших в нем дел от начала, а особливо от покорения его Российской державой по сии времена» Г. Ф. Миллера. Обсуждение рукописи Крашенинникова началось с 1751 г., когда академическая Канцелярия вменила ему в обязанность включить в рукопись материалы Г. Стеллера. Крашенинников подчинился и использовал работы Стеллера в примечаниях

«с объявлением его имени». Две части подготовленной работы были отданы на прочтение профессорам и адъютантам, в том числе Ломоносову, Миллеру и унтер-библиотекару Тауберту. Последний никаких замечаний не сделал, рекомендовав быстрее рукопись печатать к «крайнему удовольствию публики и к немалой славе Академии». Ломоносов также счел книгу достойной издания, отметив «невеликие и немногие неисправности в штиле» на полях рукописи. В дальнейшем Ломоносов упоминал это исследование и в «Кратком описании разных путешествий по северным морям

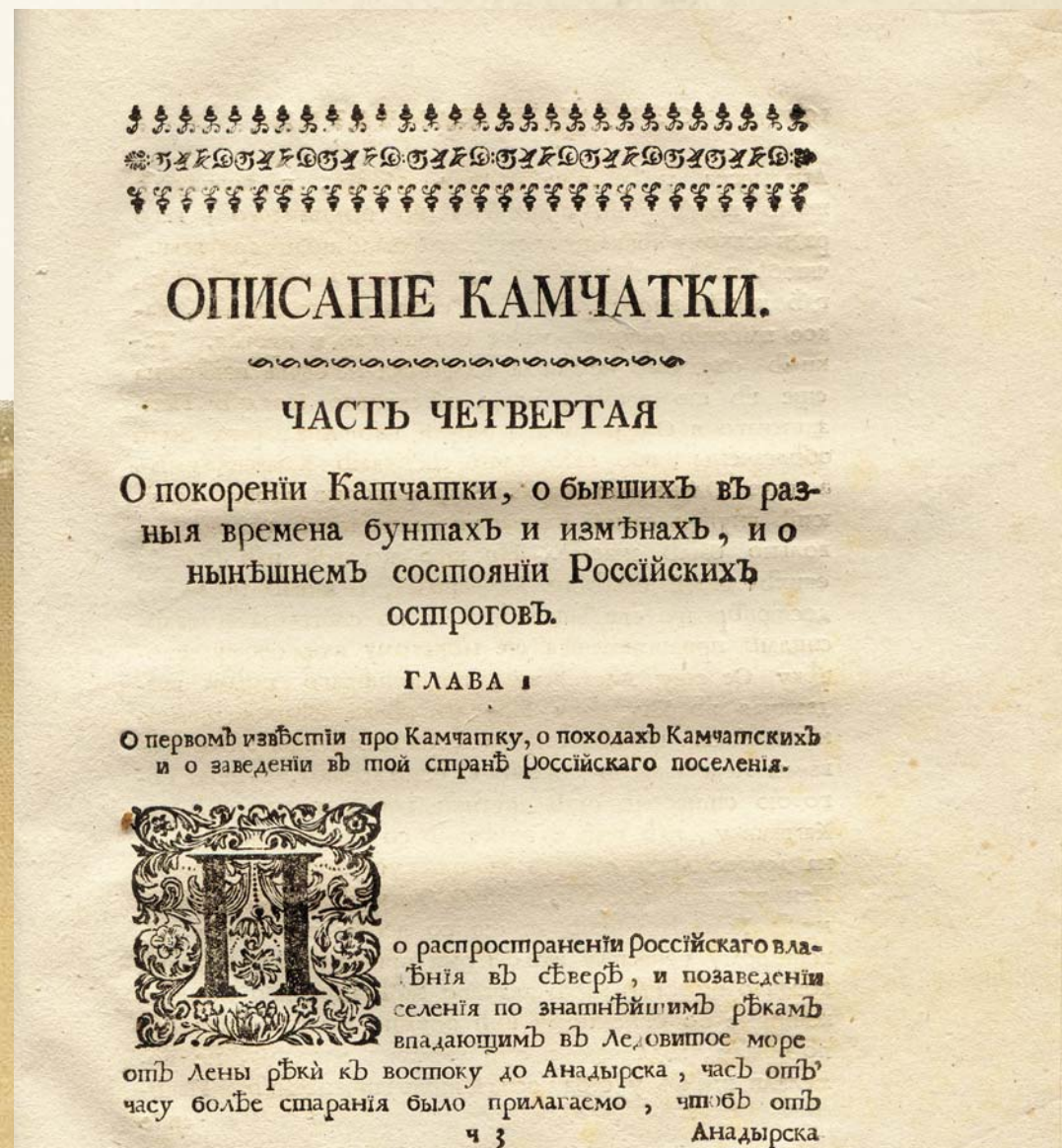
ее автора: на титульном листе год издания 1755, но исследователи считают, что книга вышла в 1756 г.

Известный советский ученый Б. П. Полевой справедливо писал, что «Описание Земли Камчатки» – это самая первая в истории России научная академическая монография и первая русская региональная энциклопедия (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1994, т. 1, с. 3). Одно лишь перечисление глав в содержании книги дает представление о широком охвате тем, раскрытых в труде Крашенинникова.

Издание 1756 г. состоит из двух томов. Том первый разделен на две части. Первая – «О Камчатке и о странах, которая в соседстве с нею находится» – включает главы о географическом положении Камчатки, о реках,

о Курильских островах, об островах между Америкой и Камчаткой, о дорогах на Камчатке. Во второй части – «О выгоде и о недостатках Земли Камчатской» – Крашенинников пишет о вулканах, гейзерах, минералах, животном и растительном мире. Второй том также разделен на две части, первая (третья) из которых посвящена народам, проживающим на Камчатке, а вторая (четвертая) – истории покорения Камчатки и русским острогам. Таким образом, труд Крашенинникова представляет собой универсальный свод знаний о «Земле Камчатке».

Четвертая часть «Описания Земли Камчатки» С. П. Крашенинникова. СПб., 1755.



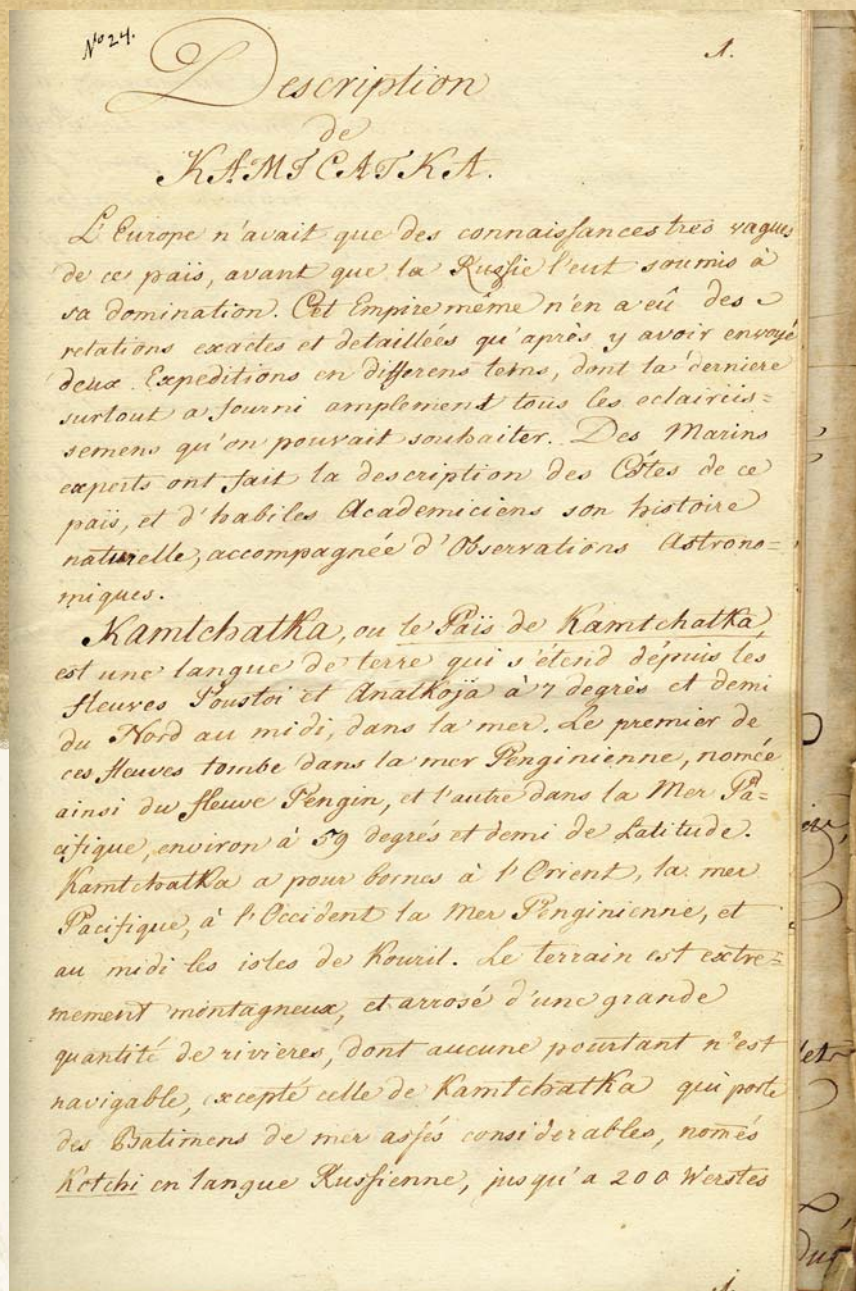
«Езда на собаках с бродовщиком, который дорогу прокладывает». Гравюра из русского издания 1755 г. «Камчатские собаки от наших дворовых простых собак ничем не разнятся, ростом оне по большей части средния, и шерстью так как наши различныя, однакож можно вообще сказать, что там белых, черных и серых, нежели других шерстей... Приборы, надлежащие к езде на них, санки, Алаки, побезник, узда, ошейники, вязки и оштал» По: (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки. СПб., 1994. Т. 1. С. 54)

Европейский бестселлер

Многие исследователи обращают внимание на тот факт, что произведение Крашенинникова в 1760-е–70-е гг. было переведено на основные европейские языки и издано в Англии, Германии, Голландии, Франции. Интерес к Сибири и результатам Второй Камчатской экспедиции в Европе действительно был огромен. Петербургская Академия наук в 1747 г. начинает публикацию сочинения И. Г. Гмелина *Flora Sibirica sive historia plantarum Sibiria* (издавалось до 1759 г., в четырех томах). В 1748 г. во Франкфурте публикуется жизнеописание Георга Стеллера, которое включало описание его путешествия – *Leben Herrn Georg Wilhelm Stellers*. Гмелин, в 1748 г. выехавший в Тюбинген, без разрешения Академии наук в нарушение обещаний остался

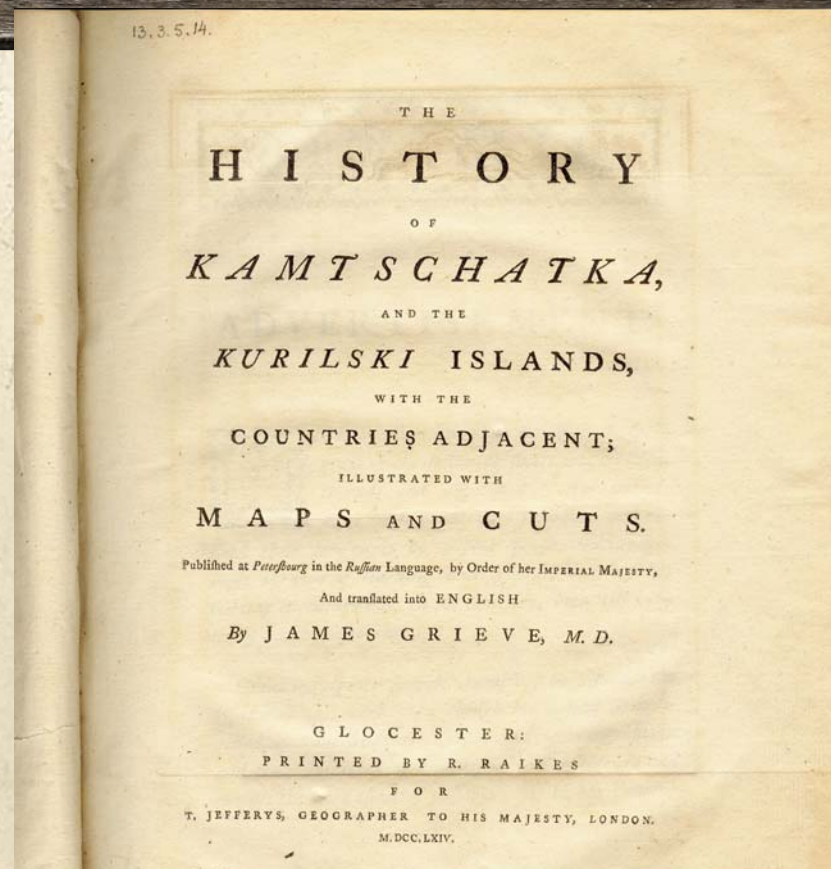
на родине и в 1751–1752 гг. опубликовал в четырех томах дневник своего путешествия по Сибири – *Reise durch Sibirien von dem Jahre 1733 bis 1743* (Göttingen, 1751–1752).

Впервые на иностранный язык, а именно французский, «Описание Земли Камчатки» в Академии наук стали переводить по предложению М. В. Ломоносова в 1759 г. В это время русский ученый-энциклопедист по предложению И. И. Шувалова готовил материалы для Вольтера, писавшего «Историю Российской империи при Петре Великом». В письме Ломоносова И. И. Шувалову от 8 июля 1759 г. читаем: «По приказанию вашего высокопревосходительства сыскал я такого человека, который в состоянии вас удовлетворить историческими переводами и экстрактами с российского языка на французский. Г. Модрах, профессор истории,



Description de Kamtschatka.
Краткое описание Камчатки, сделанное на основе труда С. П. Крашенинникова. Составление сокращения, возможно, выполнено М. В. Ломоносовым. Перевод на фр. яз. К. Модераха. 1759—1760 гг. рукой писца. Библиотека Вольтера (РНБ)

Титульный лист английского издания книги С. П. Крашенинникова *The history of Kamtschatka, and the Kurilski islands, with the countries adjacent.* Published in the Russian Language... and translated into English by J. Grieve. Gloucester, 1764



Гравюра из *The history of Kamtschatka, and the Kurilski islands*: «В Камчатском житье, — писал Крашенинников, — как в крестьянстве, в разные времена и работа бывает различная»



надеюсь, вам известен, который по-французски искусен и российский язык основательно знает, весьма желает услужить сим трудом вашему высокопревосходительству и уже начал делать экстракт из «Камчатской истории», в чем могу ему спомоществовать моим советом и для переписки набело употребить студентов» (Ломоносов М. В. Полн. собр. соч., 1959, т. 10, с. 533). Подготовленный перевод был отправлен Вольтеру во Францию, однако не был использован им при написании истории России. Ныне перевод сокращенного «Описания Камчатки» на французском языке хранится в Библиотеке Вольтера в Санкт-Петербурге.

В 1760-е гг. книга Крашенинникова становится европейским бестселлером. В 1764 г. сокращенный перевод «Описания Земли Камчатки» — *The history of Kamtschatka, and the Kurilski islands, with the countries adjacent* (Gloucester, 1764). Издателем перевода был Томас Джеффри, который опубликовал в 1761 г. книгу Миллера *Voyages from Asia to America for completing the discoveries of the north-west coast of America... By Thomas Jefferys*. Переводу было предпослано анонимное предисловие о том, что язык русского оригинала нелитературный, грубый, в описаниях Крашенинникова много неинтересных отступлений, и несмотря на то, что автор

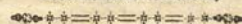
13.3.6.16a.

18494

COPIANIE
ZEMLI KAMTSCHATKI

Sotshinennoje
STEPANOM KRASCHENINNIKOWYM

Academii Nauk Professorom.



d. i.

Beschreibung

des

Landes Kamtschatka

verfasset von

Stephan Krascheninnikow

Professor bey der Academie der Wissenschaften.

II Theile 4. Petersburg bey der Academ. der Wissenschaften 1755 in einem Auszuge
in Englischer Sprache bekant gemacht von

Jacob Grieve

Doctor der Arzneykunst

und mit Landkarten und Kupferbildern 1764 herausgegeben

von

T. Jefferys

Königlichen Erdbeschreiber in London

nun in das Deutsche übersetzt und mit Anmerkungen erläutert

von

Johann Tobias Köhler

Professor zu Göttingen und Mitglied der Churmaynzischen Academie der nützlichen
Wissenschaften.

L e m g o

in der Meyerischen Buchhandlung. 1766.



Титульный лист немецкого издания книги Крашенинникова *Opisanie zemli Kamtschatki sotshinennoje Stepanom Krascheninnikowym, Academii nauk professorom, d. i. Beschreibung des Landes Kamtschatka / verfasst von Stephan Krascheninnikow, Professor bey der Academie der Wissenschaften. Petersburg bey der Academie der Wissenschaften 1755 in einem Auszuge in englischer Sprache bekant gemacht von Jacob Grieve, Doctor der Arzneykunst, und mit Landkarten und Kupferbildern 1764 herausgegeben von T. Jefferys, Königlichen Erdbeschreiber in London, nun in das Deutsche übersetzt und mit Anmerkungen erläutert von Johann Tobias Köhler, Professor zu Göttingen und Mitglied der Churmaynzischen Academie der nützlichen Wissenschaften. Lemgo: Meyer, 1766*

13 VIII 9/64

DESCRIPTION

ABREGE'E

DU PAYS

DE

KAMTSCHATKA

tirée

de la traduction Allemande

de M. TOBIE KOEHLER

faite sur l'original Anglois

de MM. GRIEVE & JEFFERYS.

par Mr. A. P.



A ERLANG

Chés WOLFGANG WALTHER 1768.



сообщил много полезных сведений, нужно сочинение переработать. Перевел на английский язык «Описание Земли Камчатки» Джеймс Грив (1703–1763), доктор медицины, который с 1734 г. состоял на русской службе, был врачом сухопутного госпиталя в Петербурге, а в 1750-е гг. работал в Москве. Книга Крашенинникова в английском переводе, а лучше сказать пересказе, Дж. Грива, прежде всего, была им значительно сокращена. Но несмотря на столь вольное обращение с оригинальным текстом, издание труда Крашенинникова в Англии в 1764 г. имело большое значение, поскольку было несомненно связано с подготовкой заключенного в 1766 г. трактата о дружбе и коммерции между Российской Империей и Великобританией. Камчатка

вводилась в круг российско-английских отношений как место возможной скорой встречи экономических и политических интересов двух стран. В книге были опубликованы гравюры по рисункам из русского издания. Различие заключалось в том, что в английском издании два рисунка могли быть размещены на одной гравировальной доске.

С этого лондонского издания выполнены переводы «Описания Земли Камчатки»: на немецкий в 1766 г., в 1767–1768 г. – на французский, в 1770 г. – на голландский языки. Примечательно для нас французское издание, вышедшее в Лионе в переводе М.-А. Эйду. В 1769 г. в его же переводе была издана книга М. В. Ломоносова «Древняя Российская история» (*Histoire de la Russie...*).

Эйду сотрудничал с издателями «Энциклопедии», в частности П. А. Гольбахом и А. Бриассоном.

Совсем другого характера издание «Описания Земли Камчатки», вышедшее в Париже в 1768 г. в качестве второго тома к книге о Сибири аббата Шаппа д'Отроша. В 1761 г. аббат Шапп д'Отрош приехал в Россию для наблюдения в Тобольске прохождения Венеры через диск Солнца. Изданная в 1768 г. книга *Voyage en Sibirie, fait par ordre du roi en 1761: contenant les mœurs, les usages des Russes, & l'état actuel de cette puissance* была написана Д'Отрошем по путевым дневникам и научным наблюдениям. «Недоброхот России», как его называл М. В. Ломоносов, дал резкую оценку разным сторонам российской жизни, государственному устройству, рус-

Титульный лист одного из французских изданий книги С. П. Крашенинникова *Description abrégée du pays de Kamtschatka... 1768 г.*

скому характеру и нравам. Это именно та книга, в ответ на которую обиженная Екатерина II написала и издала в Амстердаме в 1770 г. «Антидот». И именно в издании этой книги вторым томом был опубликован профессионально выполненный перевод книги С. П. Крашенинникова. Правда, и здесь в авторскую композицию «Описания Земли Камчатки» были внесены изменения: ряд частей были переставлены местами. Переводчик текста

AARDRYKSKUNDIGE
EN
NATUURLYKE
BESCHRYVING
VAN
KAMTSCHATKA,

EN DE
KURILSCHE EILANDEN,
MET EEN GEDEELTE DER
KUST VAN AMERIKA.
BEHELZENDE

Eene omftandige Befchryving dier Landen, de
Natuurlyke Historie, den Aart, Zeeden en
Gewoonten der Inwooneren, en de eerfte
Ontdekking derzelven, benevens de
Verovering van KAMTSCHATKA
door de Ruffen.

OP RUS-KEIZERLYK BEVEL, TE PETERSBURG,
IN DE RUSSISCHE TAAL UITGEGEVEN.

Vervolgens in het Engelsch en Hoogduitsch, en
nu in het Nederduitsch vertaald.

Met Plaatén.



Te AMSTERDAM,
By JOHANNES WESSING WILLEMSZ.,
Boekverkoper op den hoek van de Voor-
burgwal en Stiltteeg. 1770.



BESCHRYVING van KAMTSCHATKA
en de
KURILSCHE EILANDEN.

By JOHANNES WESSING. Willemsz. 1770.

Титульный лист голландского издания книги С. П. Крашенинникова *Aardrykskundige en natuurlyke Beschryving van Kamtschatka, en de Kurilsche Eilanden: In de Russische Taal uitgegeeven: Vervolgens in het Engelsch en Hoogduitsch, en nu in het Nederduitsch vertaald. Amsterdam, 1770*

Фронтиспис к голландскому изданию книги Крашенинникова. Рисунок и гравюра нидерландского рисовальщика, гравера Симона Фокке (1712—1784)

не указан. Но, на наш взгляд, можно предположить, что им был К. Ф. Модерах (1720—1770), тот самый, кого Ломоносов в 1759 г. рекомендовал И. И. Шувалову для перевода материалов по русской истории для Вольтера и чей сокращенный перевод труда Крашенинникова был отправлен французскому философу. С 1765 г. он числился в Академии наук «при переводах». Модерах был сторонником Г. Ф. Миллера в Академии, поэтому не случайны комплиментарные слова в адрес последнего в предисловии от издателя. В предисловии опи-

сана и подробная биография С. П. Крашенинникова, которую Модерах мог знать, и не только от Миллера: Модерах служил в Академии наук с 1749 г. и лично знал Крашенинникова. Композиционные изменения, сделанные при переводе, могли быть выполнены при содействии Миллера. Сопоставление текста рукописи французского перевода труда Крашенинникова, хранящейся в Библиотеке Вольтера, с текстом в издании 1768 г. не оставляют сомнений, что перевод принадлежит именно Модераху.

Титульный лист французского издания книги Крашенинникова, опубликованной вместе с сочинением Шаппа Д'Отроша

«Нижней Камчатской острог».

Гравюра из русского издания 1755 г.

«Нижней Камчатской или Нижнешантальской острог от верхнего Камчатского острога в 397 верстах, стоит на том же берегу реки Камчатки... Крепость в нем четверугольная, огорожена полисадником... с проежею рубленою башнею, которая сделана посреди стены западной. Внутри крепости строения церковь во имя Успения Пресвятой богородицы с пределом Николая Чудотворца, ясашная изба... дом Государев, в котором живут прикащики, два анбара кладовые... Все строение в разсуждении других острогов изрядное и прочное, для того что все из лиственнишнаго дуба».

По: (Крашенинников С. П. *Описание Земли Камчатки*. СПб., 1994. Т. 2. С. 240)

VOYAGE
EN SIBÉRIE,
CONTENANT
LA DESCRIPTION
DU KAMTCHATKA,

OU L'ON TROUVE

- I. Les Mœurs & les Coutumes des Habitans du Kamtchatka.
- II. La Géographie du Kamtchatka, & des Pays circonvoisins.
- III. Les avantages & les désavantages du Kamtchatka.
- IV. La réduction du Kamtchatka par les Russes, les révoltes arrivées en différents temps, & l'état actuel des Forts de la Russie dans ce Pays.

Par M. KRACHENINNIKOW, Professeur de l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg.

TRADUIT DU RUSSÉ.

TOME SECOND.

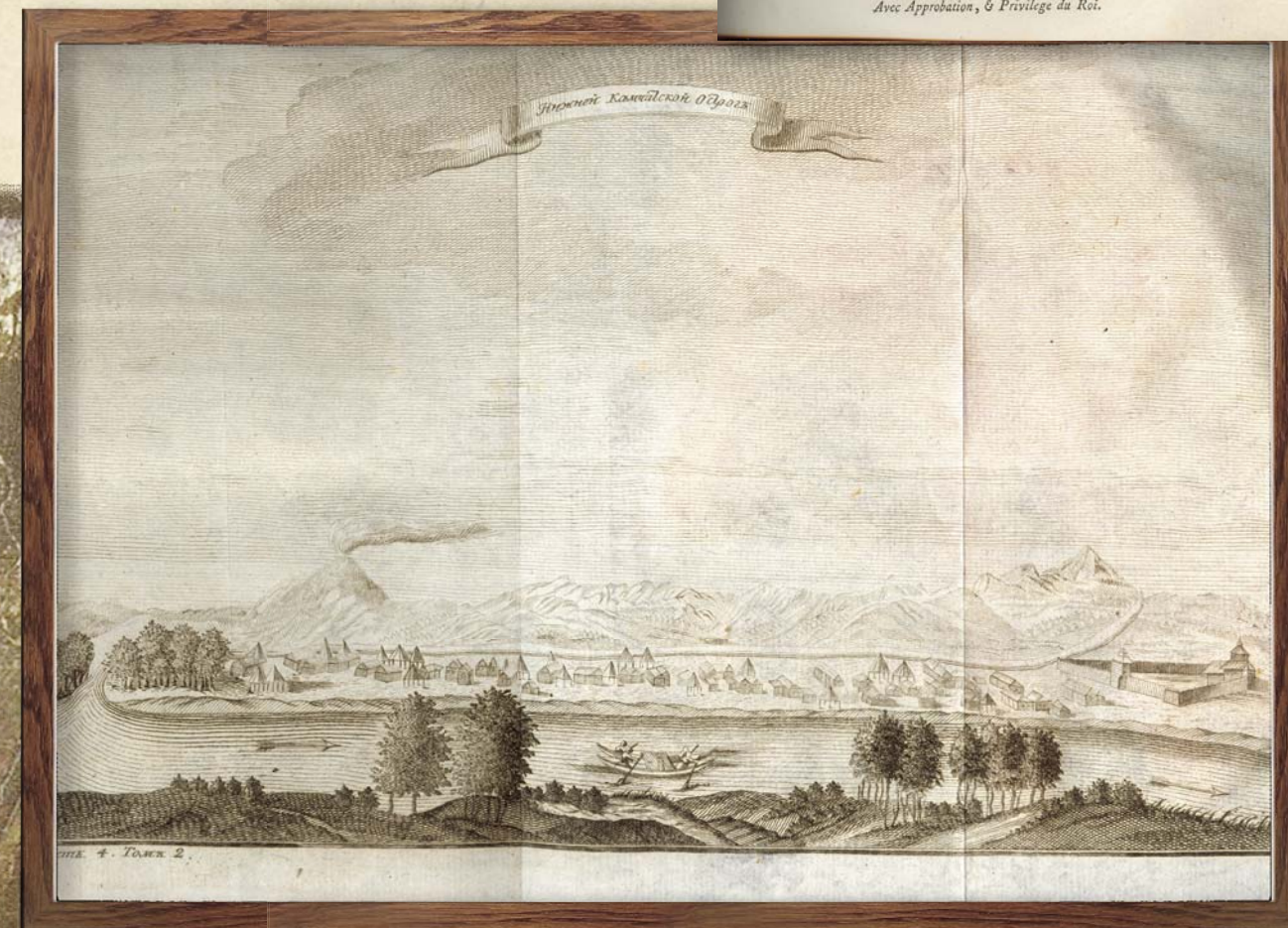


A PARIS,

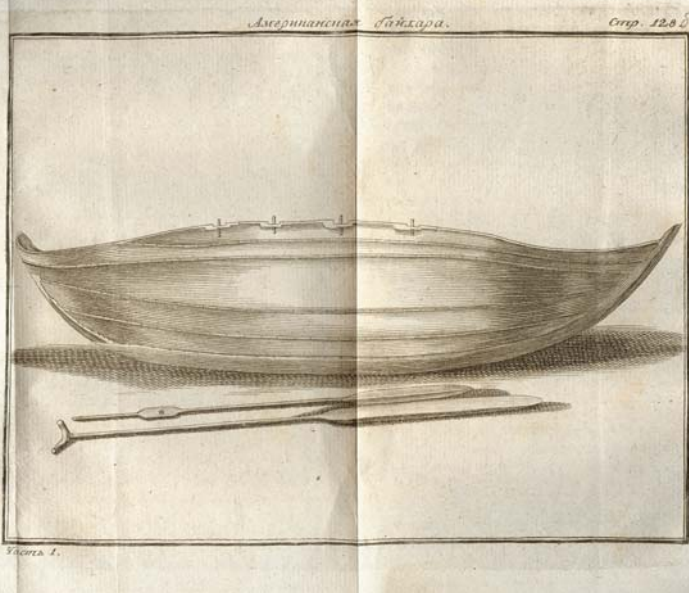
Chez DEBURE, pere, Libraire, quai des Augustins, à Saint Paul.

M. DCC. LXVIII.

Avec Approbation, & Privilège du Roi.



«Американец на байдаре».
Гравюра из русского издания 1755 г.
«Американец, седши... протягивает
ноги и обвязывает вокруг себя
брюшину, чтоб воде в байдару
попасть не можно было. Гребут
одним веслом, длиною несколько
сажен, на обе стороны попеременно,
с таким успехом, что им противные
ветры немного препятствуют,
и с такую безопасностью. Что они
несмотря на ужасное морское
волнение плавать не боятся».
По: (Крашенинников С.П. Описание
Земли Камчатки. СПб., 1994.
Т. 1. С.128)



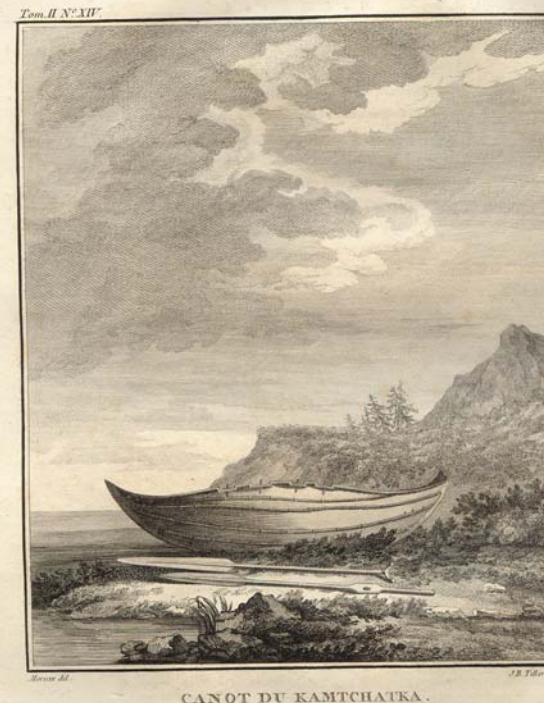
«Американская байдарка».
Гравюра из русского издания
1755 г.
«Американцы по морю плавают
в кожаных байдарках, так же,
как Коряки и Чукчи. Байдары
их длиною сажени по две,
а вышиною в два фута, носы
у них вострые, а дна плоские.
Внутренне сложение их состоит
из шестов, которые по обеим
концам вместе сплочены
и распялены поперешными
впорками. Кожи, которыми
оне вокруг обтянуты, кажется
тюлений выкрашенные вишневою
краскою».
По: (Крашенинников С.П.
Описание земли Камчатки. СПб.,
1994. Т. 1. С.128)

Интересно это издание и гравюрами, сопровождавшими текст. К русскому изданию 1755 г. еще в 1752 г. были одобрены 19 рисунков. Известно, что в экспедиции на Камчатке был художник И. Беркхан, который сопровождал Г. Стеллера. Привезенные экспедиционные рисунки уже на месте в Академии наук копировались. О «камчатских рисунках» известно, что подготовленные для издания копии (вероятно, Беркханом и Люрсениусом) оценивались высоко: «а что касается до исправного рисования в перспективе, в проспектах и в протчем, то

онные сделаны несравненно лучше оригиналов, кроме трех рисунков, о которых потребно у профессора Крашенинникова требовать известия». После исправления все рисунки были отправлены в «грыдоровальную палату» мастеру И. Соколову. Как известно, к рисункам, выполняемым в академических экспедициях, предъявлялись жесткие требования. Художник должен был максимально точно воспроизвести объект, чтобы рисунок служил не только иллюстрацией, но и давал возможность дальнейшего исследования. И Беркхан,

и Люрсениус справились с поставленной им задачей. Таковы были и «камчатские рисунки», гравюры с которых были опубликованы в русском издании.
Но эти научные иллюстрации не устроили французских издателей, которые заказали новые рисунки известному французскому художнику Жан-Батисту Лепренсу (1734–1781), ученику знаменитого Франсуа Буше. Выбор был связан, видимо, с тем, что Лепренс с 1758 г. пять лет прожил в России, работал при российском дворе, путешествовал по Финляндии и Прибалтике и поэтому, видимо, считался знатоком России. Ряд рисунков созданы художником и гравером Жаном Мише-

лем Моро (младшим) (1741–1814), также побывавшим в России с 1758 по 1759 г., где преподавал в Академии художеств. Моро выполнял работы для «Энциклопедии» Дидро и Д'Аламбера, иллюстрировал произведения Руссо и Вольтера. По рисункам Лепренса и Моро гравюры были созданы Ж.-Б. Тийяром (1723–1798). Два знаменитых художника, взяв за основу сюжеты русских гравюр, выполнили рисунки, не сохранив ни антропологические типы, ни особенности жилищ, ни пейзажи. То есть это были не этнографические рисунки, которые были важны Петербургской Академии наук и С. П. Крашенинникову, а романтические изображения



Байдара, или американское каноэ. Камчатское каноэ.
Гравюра Ж.-Б. Тийяра по рисунку Ж.-М. Моро из книги
Voyage en Sibirie, contenant la Description du Kamtchatka... Paris, 1768.
В русском издании художник создавал рисунок с соблюдением всех необходимых деталей, в том числе воспроизводил антропологические черты лица «американца», его костюм, то есть создавал научную иллюстрацию. Художник Моро, правильно воспроизведя в целом форму байдары, «посадил» в нее человека в восточных одеждах, создал пейзаж, которого на русском рисунке не было. Утрированно большое весло, нож и пучок стрел на каноэ



Камчадалка в выходной одежде (слева). Камчадалка в парадной одежде (внизу). Гравюра И. Конинга из амстердамского издания М. М. Рея книги С. П. Крашенинникова «Описание Земли Камчатки»

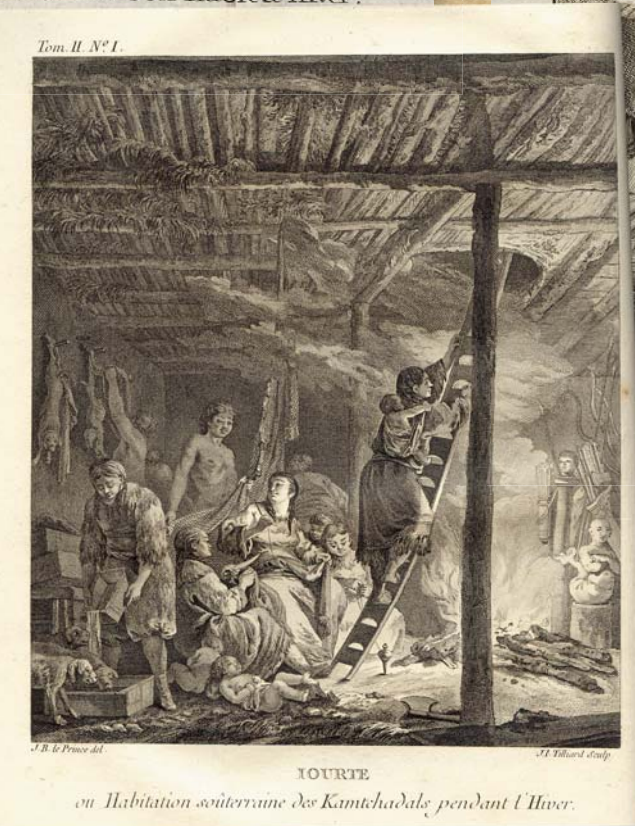


«диких» народов. В 1770 г. известный издатель Марк Мишель Рей переиздал в Амстердаме полный французский перевод труда Крашенинникова – *Histoire de Kamtschatka, des isles Kurilski, et des contrées voisines, publiée en Lanque Russe* / Steph. Kracheninnikoff. С этого издания был сделан новый немецкий перевод, опубликованный в Лейпциге в 1771 г. в 20-м выпуске *Allgemeine Historie der Reisen zur Wasser und zu Land*. Гравюры в издании М. М. Рея сделаны по мотивам рисунков Лепренса и Моро, но это другие рисунки, правда, этнографической точности в них тоже мало.

Что касается переизданий «Описания Земли Камчатки» в России, то второе издание труда Крашенинникова вышло в Петербурге в 1786 г., а в 1818–1819 гг. он вошел в том 1 и 2 «Полного собрания ученых путешествий». Из советских изданий большой научный интерес



Камчадал в зимней одежде (слева). Камчадал в летней одежде (внизу). Гравюры И. Конинга из амстердамского издания М. М. Рея книги С. П. Крашенинникова «Описание Земли Камчатки»



Юрта, или подземное зимнее жилище камчадалов. Гравюра Ж.-Б. Тийяра по рисунку Ж.-Б. Лепренса

«Камчадал в зимнем платье». Гравюра Ж.-Б. Тийяра по рисунку Ж.-Б. Лепренса



Камчадал в торжественной одежде. Гравюра Ж.-Б. Тийяра по рисунку Ж.-Б. Лепренса

«Камчадал в летнем платье». Гравюра Ж.-Б. Тийяра по рисунку Ж.-Б. Лепренса



«Камчадал в летнем платье». Гравюра из русского издания 1755 г. «Описания Земли Камчатки»



Камчатская женщина в выходном платье. Гравюра Ж.-Б. Тийяра по рисунку Ж.-Б. Лепренса



«Знать свое отечество во всех его пределах»

Сначала — история своего Отечества, а потом уже и изучение других стран — вот что важно для обучения юношества, по мнению Крашенинникова, «ибо стараться знать состояние других государств, своего не ведая, кажется, не разнствует от того, кто, не выуча азбуки, философские книги читать учился» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 87). Призывая к изучению и описанию России, Крашенинников справедливо отмечал, что «все европейские государства вообще не более как треть России», но сколько людей и уже многие годы трудятся над описанием небольшого европейского пространства. А что ж российские просторы? «Знать свое отечество во всех его пределах, знать изобилие и недостатки каждого места, знать промыслы граждан и подвластных народов, знать обычаи их, веру, содержание и в чем состоит богатство их, также места, в каких они живут, с кем пограничны, что у них произрастит земля и воды и какими местами к ним путь лежит» (Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки, 1949, с. 87), — такова была цель жизни, путешествий и исследований русского ученого Степана Петровича Крашенинникова.

Литература

Андреев А.И. Жизнь и научные труды Степана Петровича Крашенинникова // Советский Север. 1939. № 2. С. 5—64.
 Крашенинников С.П. Описание Земли Камчатки / С приложением рапортов, донесений и других неопубликованных материалов. М.; Л., 1949.
 Крашенинников С.П. Описание Земли Камчатки. СПб., 1994. Т. 1, 2.
 Материалы для истории Императорской Академии наук. СПб., 1900. Т. X.
 С.П. Крашенинников в Сибири. Неопубликованные материалы / Подготовка текста и вст. статья проф. Н.Н. Степанова. М.; Л., 1966.
 Фундаминский М.И. Библиотека академика С.П. Крашенинникова // Русские библиотеки и их читатель. (Из истории русской культуры эпохи феодализма). Л., 1983. С. 142—160.
 Штернберг Л.Я. Первобытная религия в свете этнографии. Л., 1936.

представляет подготовленное Н. Н. Степановым издание 1949 г. с приложением ранее неопубликованных архивных документов (рапортов, доношений и т.д.). В 1994 г. в Петербурге вышло факсимильное воспроизведение «Описания Земли Камчатки» 1756 г. с предисловием замечательного русского ученого Бориса Петровича Полевого. Полиграфические возможности в 1949 и 1994 гг. у издателей работы С.П. Крашенинникова были невелики. Возможно, что новое издание с картами и гравюрами, с использованием накопившегося за это время дополнительного научного материала было бы востребовано и исследователями, и самой широкой читающей публикой.

«Камчадал в зимнем платье». Гравюра из русского издания 1755 г. «Описания Земли Камчатки»

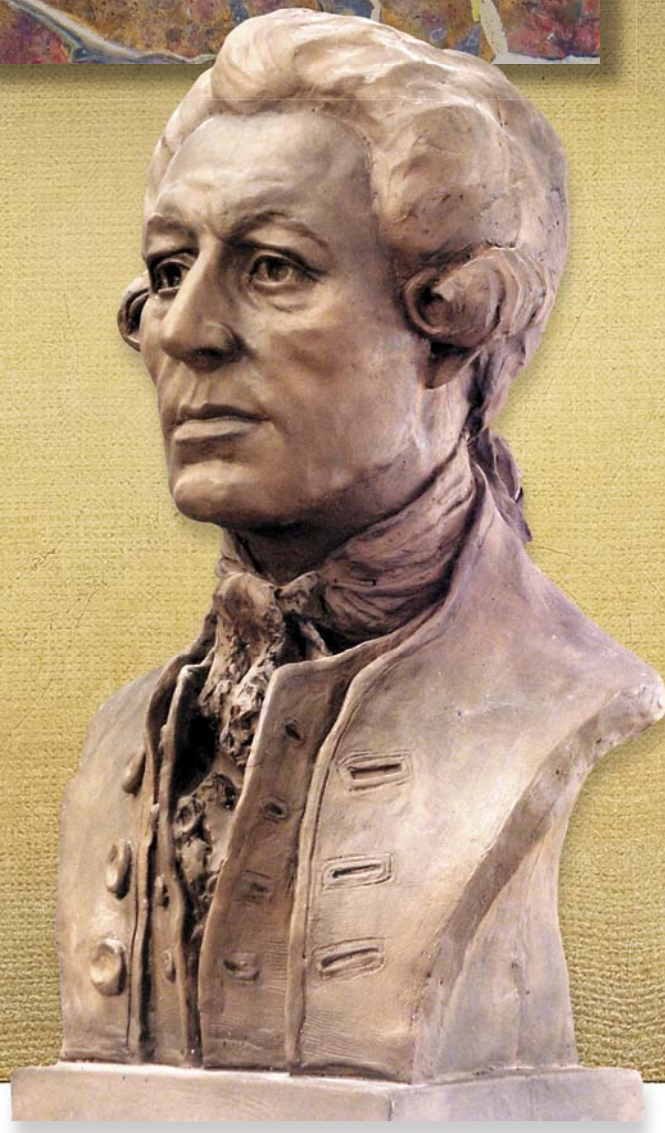


Д. Г. САВИНОВ

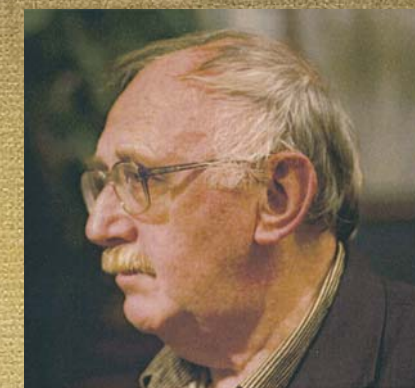
О раскопках погребения С. П. КРАШЕНИННИКОВА в Петербурге

Археологические раскопки в границах больших, не столь старых городов, – дело хлопотное и довольно новое. Применение слова «раскоп» к кладбищу XVIII в. было бы довольно кощунственно, если бы кладбище не относилось к категории утраченных, а раскапывать начал экскаватор, а не археолог. На кладбище у Благовещенской церкви на Васильевском острове в Петербурге хоронили многих бывших сотрудников Академии наук и Академии художеств: известного механика, соратника Петра I Андрея Константиновича Нартова, рисовальщика и гравера Михаила Ивановича Махаева, художника Антона Павловича Лосенко. Там же был похоронен и исследователь Камчатки, профессор, ректор академического университета С. П. Крашенинников. Привлечение профессиональных археологов и антропологов к этому «раскопу» позволило идентифицировать найденные останки как принадлежащие именно Крашенинникову

Фаянсовая пиала из погребения
С. П. Крашенинникова.
Фотоархив ИИМК РАН, № нег. 1-64596



Современный вид на церковь Благовещения на Васильевском острове в Санкт-Петербурге. 2011 г.



САВИНОВ Дмитрий Глебович – доктор исторических наук, профессор кафедры археологии Исторического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Автор более 300 работ о культуре и истории древних и раннесредневековых обществ Центральной Азии и Южной Сибири (от эпохи бронзы до монгольского времени включительно)

Степан Петрович Крашенинников – одна из самых ярких и в то же время трагических фигур в русском сибиреведении. Его знаменитое выражение – «знать свое отечество во всех его пределах» – может считаться своего рода знаменем науки о Сибири петровской эпохи и вообще всего XVIII в. На общем фоне отрывочных, неполных и в ряде случаев противоречивых сведений о Камчатке, появилось первое всестороннее исследование этой самой отдаленной части бескрайнего пространства от Урала до Тихого океана, сразу переведенное на все европейские языки и во многом опередившее свое время.

Создание этого фундаментального труда – научный подвиг С. П. Крашенинникова, в течение четырех лет (с октября 1737 г. по июнь 1741 г.) проводившего свои исследования практически в одиночестве, в совершенно чужих землях, среди все еще первобытного населения, культура которого являлась живым слепком каменного века. Работа С. П. Крашенинникова сопоставима с трудами другого нашего великого соотечественника – Н. Н. Миклухо-Маклая, открывшего миру феномен неолитической культуры папуасов Новой Гвинеи.

Документальный портрет С. П. Крашенинникова, выполненный Г. В. Лебединской.
Гипс. Институт этнологии и антропологии РАН,
Москва, 1972

Ключевые слова: С. П. Крашенинников, Вторая Камчатская экспедиция, археологические раскопки, археология Петербурга.
Key words: S.P. Krasheninnikov, the Second Kamchatka expedition, archaeological excavation, archaeology of Petersburg

Студент Степан Крашенинников

Всестороннее изучение Камчатки как своего рода плацдарма для дальнейшего освоения побережья Северной Америки было одной из главных задач Великой Сибирской, или Северной, экспедиции, носившей также название Второй Камчатской, что подчеркивает конечные цели ее предназначения. Однако участники сухопутной части экспедиции академика Г. Ф. Миллер и И. Г. Гмелин (морской частью экспедиции руководил Витус Беринг) сами на Камчатку не поехали, а отправили туда самого способного, до этого хорошо себя зарекомендовавшего студента Степана Петровича Крашенинникова, которому было тогда 24 года. Конечно, понятие «студент» нашего времени и первых лет существования Петербургской Академии наук не сопоставимы, но все же, все же...

Таким образом, на плечи Крашенинникова, все время ожидавшего приезда профессоров, которые на Камчатку так и не поехали, легла обязанность всестороннего изучения этого обширнейшего края, а, по сути дела, выполнение одной из главных задач всей сухопутной части экспедиции.

Известно, в каких тяжелейших условиях проводил свои исследования С. П. Крашенинников, о чем свидетельствуют рапорты, регулярно отправляемые им Г. Ф. Миллеру и И. Г. Гмелину. Вероятно, следует

также иметь в виду постоянное моральное напряжение Крашенинникова, безусловно понимавшего всю меру своей ответственности за исполнение порученного дела. В одном из рапортов он обращается с просьбой об увеличении ему жалованья (которое так и не доходило). В прошении в Сенат по данному поводу Г. Ф. Миллер очень высоко оценивает «трудолюбие и отменное искусство» С. П. Крашенинникова, но «с крайней мизерией жизнь свою продолжающему», и просит об увеличении денежной субсидии; отсутствие самого необходимого может «его состояние не только опечалить», но и привести в «унылое нерадение». К счастью, Миллер ошибся (или просто плохо знал Крашенинникова). Несмотря на то, благодаря энергии и самоотверженности вверенного ему «студента», открытие Камчатки и ее всестороннее исследование состоялось!

Драматические коллизии сопровождали С. П. Крашенинникова и на его дальнейшем жизненном пути. Отношения с Г. Ф. Миллером, которого он позже сменил на посту ректора Академического университета; отношения с адъютантом Г. Стеллером, который прибыл на Камчатку осенью 1740 г. с орденом принять Крашенинникова «в свою команду» и при этом «какие имеются казенные книги и материалы и сколько имеется служивых реестр объявить», то есть сдать; участие

Фрагмент надмогильной плиты
С. П. Крашенинникова. МАЭ РАН



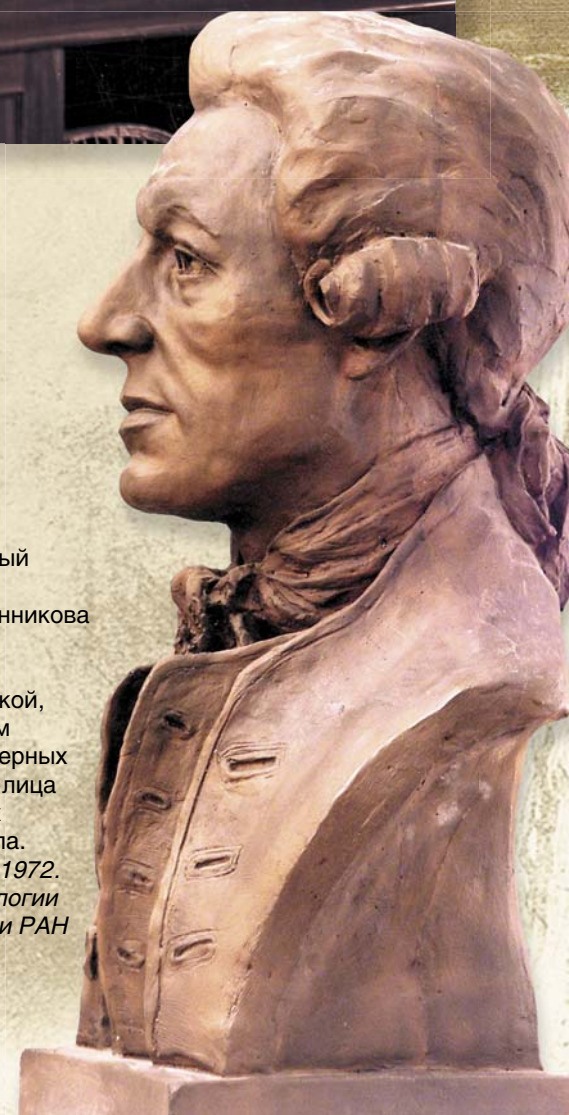
М. М. Герасимов
(второй справа)
и В. В. Гинзбург
(третий справа)
в отделе
Антропологии
Музея
антропологии
и этнографии
им. Петра
Великого.
Ленинград.
1950 г.



К ИСТОРИИ АНТРОПОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОРТРЕТА СТЕПАНА ПЕТРОВИЧА КРАШЕНИННИКОВА

Осенью 1963 г. в Музей М. В. Ломоносова в Ленинграде (ныне Отдел истории Кунсткамеры и отечественной наук XVIII в. Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН) поступил необычный экспонат: обломок надмогильной плиты. На плите сохранилась высеченная на ней надпись: «На сем месте погребен Академии Наук профессор Степан Петров сын Крашенинников, который <...> показал <...>» — слова, обозначенные отточием в угловых скобках, стерты. Фрагмент плиты обнаружили при земляных работах на территории Благовещенской церкви на Васильевском острове, при которой с 1738 по 1760-е гг. находилось действующее кладбище. Передача плиты в Музей М. В. Ломоносова была вполне закономерна. Музей был открыт в 1949 году не только как мемориальный и посвященный жизни и деятельности великого русского ученого М. В. Ломоносова. В экспозиции Музея представлена история русской науки и Академии наук в XVIII в. Одной из первостепенных задач, стоявших перед организаторами Музея М. В. Ломоносова, являлось описание истории становления и развития научных дисциплин и судеб крупнейших российских ученых XVIII в., каковым был и С. П. Крашенинников. После проведенных раскопок предварительная антропологическая экспертиза найденных останков была выполнена

Документальный
портрет
С. П. Крашенинникова
(профиль),
выполненный
Г. В. Лебединской,
с соблюдением
научно достоверных
взаимосвязей лица
и подлежащих
структур черепа.
Гипс. Москва, 1972.
Институт этнологии
и антропологии РАН





Расчистка погребения С. П. Крашенинникова.
По: (Грач, 1966)

С. П. Крашенинникова в академических конфликтах в Петербурге на стороне М. В. Ломоносова – все это заслуживает самого пристального внимания и углубленного изучения...

«Конец житию его последовал в 1755 году...»

Степан Петрович Крашенинников скончался 25 февраля 1755 г., в возрасте 44 лет, из которых 10 он провел в Великой Сибирской экспедиции, так и не увидев главного труда своей жизни – книги «Описание земли Камчатки», изданной только в 1756 г. Похоронен профессор Крашенинников был на академическом кладбище, которое находилось на 7-й линии Васильевского острова в Петербурге, в ограде Благовещенского собора. В начале 30-х гг. XX в. собор был закрыт, а место захоронения утеряно и забыто.

Осенью 1963 г. экскаватором, проводившим здесь земляные работы, была вывернута из земли обломанная каменная плита с надписью «На сем месте погребен Академии Наук профессор Степан Петров сын Крашенинников... показал» (далее плита сломана и надпись не сохранилась). Первоначальное местонахождение плиты и, следовательно, точное место захоронения С. П. Крашенинникова из расположения самой находки не было известно. Для его обнаружения и последующих раскопок был создан небольшой археологический отряд, в состав которого входили А. Д. Грач (начальник отряда), М. Н. Пшеницына (лаборант ЛОИА), Ю. И. Трифонов и Д. Г. Савинов (тогда студенты кафедры археологии ЛГУ) и М. А. Петухов (постоянный художник экспедиций А. Д. Грача). До этого все они работали в Красноярской экспедиции на Енисее.

Фрагмент «Карты Земли Камчатки с около лежащими местами» из русского издания «Описание Земли Камчатки», СПб., 1755

Женские праздничные санки.
Камчадалы. Камчатка. XVIII в.
Дерево, кожа, кость



заведующим Отделом антропологии Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого д. м. н., проф. В. В. Гинзбургом. Для определения портретных черт погребенного в Ленинград был приглашен заведующий лабораторией пластической реконструкции Института этнографии Академии наук СССР (Москва) д. и. н. М. М. Герасимов, который записал:

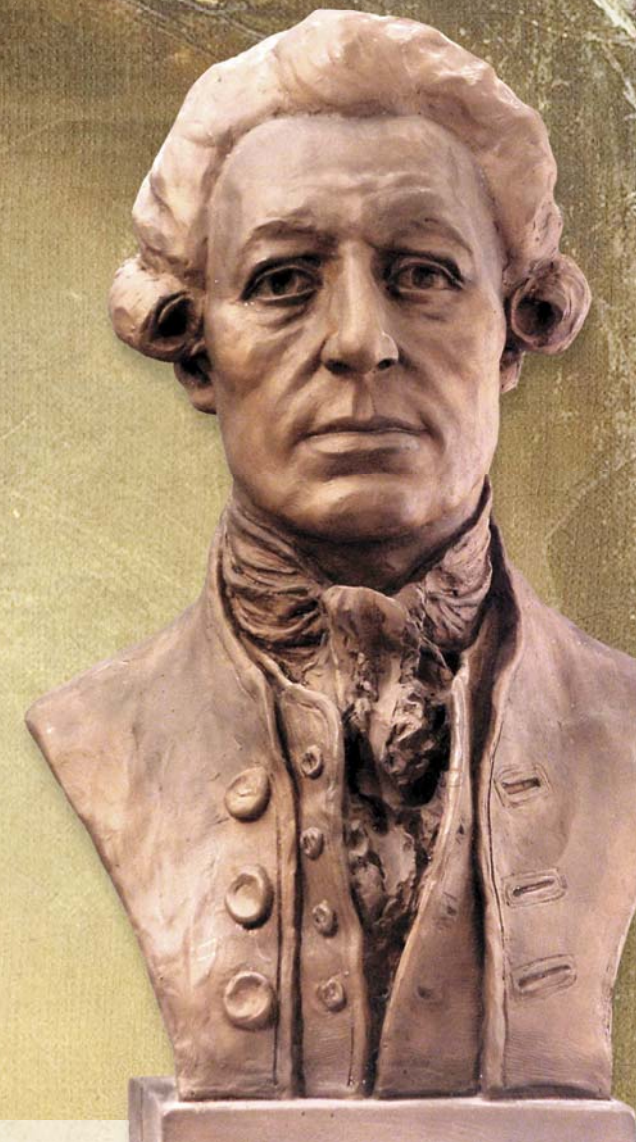
«По состоянию стертости зубов данного черепа можно говорить, что ему вряд ли меньше 40 лет. Облитерация стреловидного шва свидетельствует о возрасте между 40 и 50 годами. Об этом же возрасте свидетельствует и состояние швов всего черепа. Таким образом, определение возраста по черепу не противоречит календарному возрасту С. П. Крашенинникова на момент смерти – 44 года. На черепе наблюдаются некоторые образования (пластиночки на лобной кости), которые могут трактоваться как результат заболевания туберкулезом. На нижней челюсти альвеолы передних резцов отчетливо свидетельствуют о том, что субъект страдал пиоре (пародонтозом). Это согласуется с биографическими данными С. П. Крашенинникова.

При рассмотрении черепа нами были отмечены некоторые индивидуальные особенности, дающие возможность говорить о специфических портретных чертах лица. Так, прежде всего бросается в глаза величина и форма носа – нос был массивный, горбатый. Латеральная часть орбит давала возможность думать, что данный субъект обладал небольшой складкой мягкого века (верхнего) во внешней его части. Характер прикуса, величина зубов, их форма дали возможность говорить, что данный человек имел небольшой, энергично очерченный, прохейличный рот красивого рисунка с чуть заметным выступанием вперед нижней губы. В общем, лицо было высокое, с сильными, энергичными чертами. При сопоставлении отмеченных на черепе особенностей с гравюрным портретом С. П. Крашенинникова присутствующими было отмечено совпадение этих черт.

Весь комплекс данных (условия находки, биологический возраст, индивидуальные особенности и очевидное физиономическое сходство) дают право считать найденные останки принадлежащими С. П. Крашенинникову» (по: Грач А. Д. Открытие погребения С. П. Крашенинникова в Ленинграде. С. 115–116).

Останки С. П. Крашенинникова были переданы в Лабораторию антропологической реконструкции Института этнографии Академии наук СССР (Москва) д. и. н. М. М. Герасимову для создания портретной реконструкции.

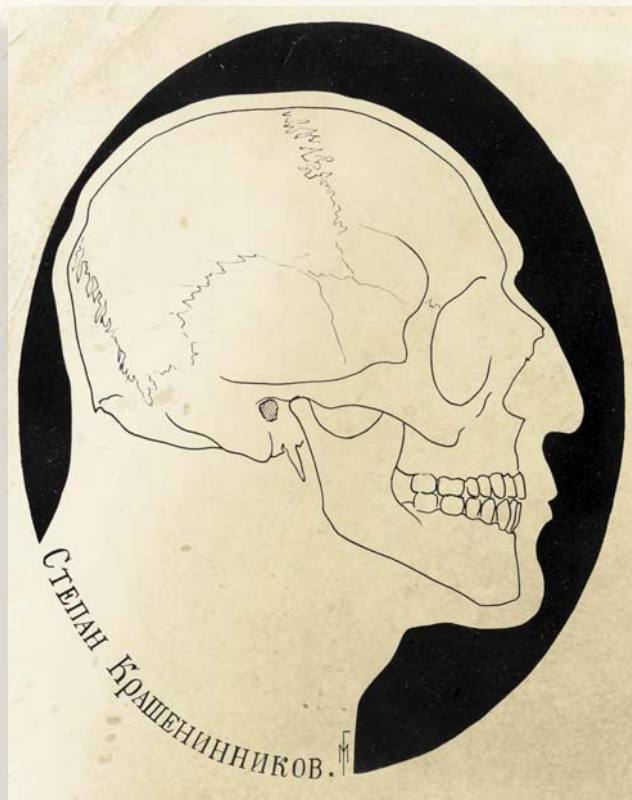
К сожалению, преждевременная кончина Михаила Михайловича Герасимова в 1970 г. отодвинула процесс создания скульптурного портрета Степана Петровича Крашенинникова. И лишь в 1972 г. к этой работе приступила прямая ученица Герасимова, преемник его в должности, заведующая лабораторией Галина Вячеславовна Лебединская.



Документальный портрет С. П. Крашенинникова (фас, профиль), выполненный Г. В. Лебединской, с соблюдением научно достоверных взаимосвязей лица и подлежащих структур черепа. Гипс. Москва, 1972. Институт этнологии и антропологии РАН

Скульптурный портрет С. П. Крашенинникова вошел в труд Г. В. Лебединской «Облик далеких предков – альбом скульптурных и графических реконструкций» (Москва, 2006). В 1988 г. останки Степана Петровича Крашенинникова были перезахоронены на Лазаревском кладбище Александро-Невской лавры в Санкт-Петербурге.

Т. С. Балуева, Е. В. Веселовская (Институт этнологии и антропологии РАН), М. В. Хартанович (Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН)



Графическая реконструкция облика С. П. Крашенинникова, выполненная Г. В. Лебединской. Институт этнологии и антропологии РАН, Москва, 1972.

Погребение мужчины, похороненного по христианскому обряду

Назначение А. Д. Грача, незадолго до этого перешедшего из Музея антропологии и этнографии (Кунсткамеры) в Ленинградское отделение Института археологии АН СССР (ЛОИА), начальником отряда по поиску и раскопкам погребения С. П. Крашенинникова не было случайным. Еще в 1952 г. А. Д. Грач, впоследствии известный исследователь Центральной Азии, произвел первые археологические раскопки в Ленинграде в Таможенном переулке у стен Кунсткамеры на трассе строящегося газопровода, с которых, по сути дела, началось развитие особой археологической субдисциплины – археологии Петербурга. По итогам произведенных раскопок А. Д. Грач опубликовал небольшую монографию (1957), давно ставшую библиографической редкостью. Помимо публикации совершенно новых материалов, показавших предметы культуры и быта населения Петербурга XVIII в., книга сопровождалась детальными зарисовками – реконструкциями художни-

ка Г. А. Песиса – с изображением тех самых предметов, которые были найдены при раскопках. В результате этих работ А. Д. Грач стал прекрасным знатоком культуры Петербурга XVIII в. Поэтому поручение найти и раскопать погребение С. П. Крашенинникова, одного из самых крупных исследователей Сибири XVIII в., им было воспринято не как обязанность, а своего рода подарок судьбы, возможность еще раз прикоснуться к этой легендарной эпохе.

Раскопки погребения С. П. Крашенинникова происходили с 20 по 26 ноября 1963 г. В эти дни было уже по-зимнему холодно; все время шел мелкий колючий снег. Площадь перед Благовещенской церковью, огороженная забором, была заснежена и пуста. Небольшой раскоп (приблизительно 5×4 м, с прирезками) находился на краю этой продуваемой площади. Работа в мерзлом грунте, достаточно кропотливая и сложная, начиналась с 10 утра и продолжалась весь световой день. Археологи опасались, что может выпасть большой снег, и раскоп тогда будет засыпан. К счастью, этого не случилось. Несмотря на погоду, работа по поиску места захоронения С. П. Крашенинникова шла как-то весело и энергично. А. Д. Грач, вообще умевший создавать удивительно дружную обстановку на раскопе, ласково называл Крашенинникова «Крошем». В этом не было никакой фамильярности, а лишь выражение уверенности, что, так или иначе, мы обязательно встретимся. Так оно и случилось.

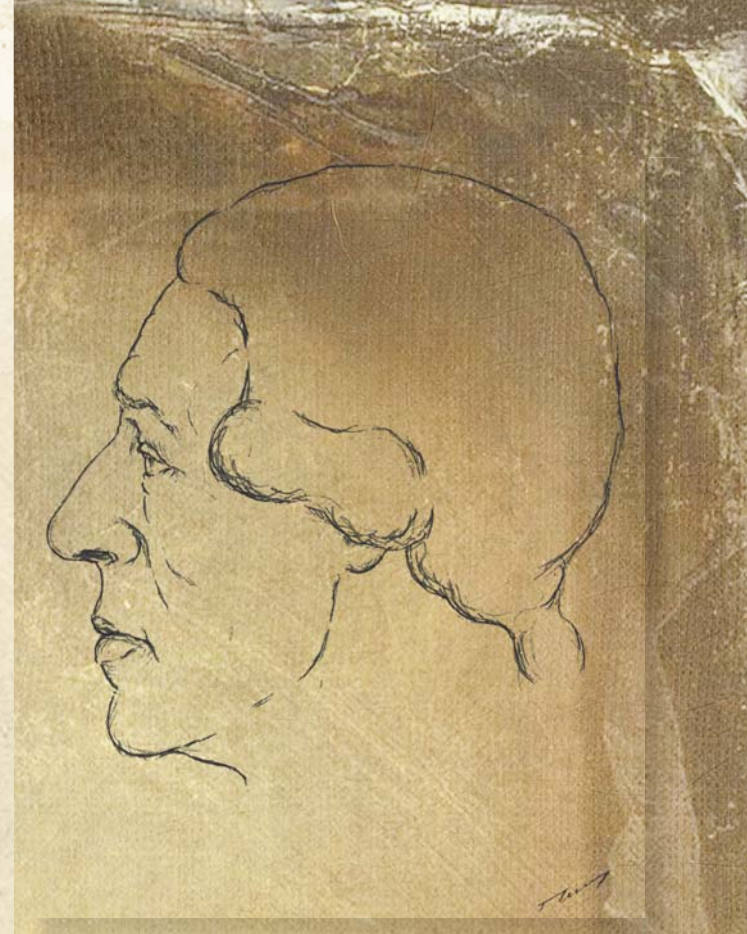
Находки в раскопе

В пределах заложенного раскопа (а именно на этом участке была обнаружена могильная плита с упоминанием имени С. П. Крашенинникова) на глубине около 1,5 м находилось три захоронения: одно детское, другое – край какого-то, вероятно, фамильного склепа из кирпичика и третье – погребение взрослого человека в простом деревянном гробу, вытянутое по основной оси заложенного раскопа. Два первых захоронения идентифицировать было невозможно. Третье, получившее номер 1, стало основным объектом нашего внимания.

Расчищала его непосредственно М. Н. Пшеницына, мы стояли по бортам раскопа уже в качестве наблюдателей. Расчищала очень долго и тщательно. Оказалось, что это погребение мужчины в возрасте около 40–50 лет, похороненного по христианскому обряду, со сложными на груди руками. Еще во время расчистки нас поразили три обстоятельства, указывающие на то, что перед нами действительно останки С. П. Крашенинникова. Первое – это истлевшие фрагменты зеленого сукна от форменной академической одежды того времени. Второе – медный (а не золотой и даже не серебряный) нательный крест. Известно, что С. П. Крашенинников был «солдатский сын». И, наконец, третье – фаянсовая

чашечка-пиала с синей росписью (изображение птицы и растительных мотивов на белом фоне). В специальной статье, посвященной раскопкам погребения С. П. Крашенинникова, А. Д. Грач отметил, что «пиала эта явно долго была в употреблении, прежде чем попала в погребение. Осмотревший пиалу А. М. Беленицкий (известный специалист по археологии и культуре Востока – Д. С.) не исключает ее восточно-туркестанского происхождения». Хотелось бы верить, что эта пиала могла быть любимой прижизненной вещью С. П. Крашенинникова, привезенной им из далеких путешествий в восточных районах Азии.

Для подтверждения предложенной идентификации и соответствующего заключения была создана специальная комиссия под председательством тогда зав. ЛОИА АН СССР Б. Б. Пиотровского. 27 ноября утром члены комиссии прибыли непосредственно на место раскопок. Из присутствовавших тогда членов комиссии помню М. П. Грязнова, Б. Б. Пиотровского, В. С. Сорокина, В. В. Гинзбурга; может быть – М. М. Герасимова. А. Д. Грач, стоявший на длинной стороне раскопа, подробно рассказывал обо всех аргументах в пользу идентификации раскопанного погребения как захоронения великого русского ученого Степана Петровича Крашенинникова. Все предложенные аргументы – и условное место нахождения плиты, и совпадение по полу и возрасту, и близость физиономических черт, прослеживаемых по черепу с известными изображениями С. П. Крашенинникова, и ряд других реалий (пуговицы и цвет одежды, нательный крест, фаянсовая чашечка) – были приняты безоговорочно. На этом



Профильная реконструкция по черепу С. П. Крашенинникова. Реконструкция и рисунок М. П. Грязнова. Фотоархив ИИМК РАН, № нег. II – 82673

эпопея зимних раскопок на Васильевском острове закончилась.

М. П. Грязнов, в молодые годы профессиональный антрополог, сделал по черепу графическую реконструкцию абриса лица С. П. Крашенинникова и подарил ее А. Д. Грачу, в личном архиве которого она и хранится. Сами останки С. П. Крашенинникова были положены в специально сделанный для этого деревянный ящик, обтянутый красным кумачом (!). Этот ящик довольно долго стоял на столе в секторе Средней Азии и Кавказа ЛОИА и затем исчез. И только теперь я узнал, что останки С. П. Крашенинникова в 1988 г. были перезахоронены в Ленинграде, в Александро-Невской Лавре. Надо надеяться, что *in aeternum*, навечно.

Литература

Грач А. Д. Археологические раскопки в Ленинграде. Л.: Изд-во АН СССР, 1957.

Грач А. Д. Открытие погребения С. П. Крашенинникова в Ленинграде // Советская этнография. 1966. № 4. С. 108–116.

Надмогильный памятник академику С. П. Крашенинникову на Лазаревском кладбище Александро-Невской лавры. Санкт-Петербург. 2011 г.



Сибирский САД КАМНЕЙ



Р. Ю. ДУДКО, И. И. ЛЮБЕЧАНСКИЙ,
В. В. ДУБАТолов, Ю. М. МАРУСИК



ДУДКО Роман Юрьевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории филогении и фауногенеза Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 47 научных работ



ЛЮБЕЧАНСКИЙ Илья Игоревич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии насекомых Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 73 научных работ



ДУБАТолов Владимир Викторович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории филогении и фауногенеза Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 280 научных работ



МАРУСИК Юрий Михайлович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоценологии Института биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан). Автор и соавтор 310 научных работ

Ключевые слова: петрофилы, литобионты, Южная Сибирь, эндемизм, реликты, морфологические адаптации.
Key words: petrophilous animals, lithobionts, South Siberia, endemism, relics, morphological adaptations

Ученым и любителям природы хорошо известны уникальные природные сообщества пещер, тропических островов и океанических гидротермальных источников. Биологическое разнообразие таких местообитаний часто поражает даже искушенных специалистов, причем многие их жители являются эндемиками, то есть нигде в мире более не встречаются. Но мало кто знает, что на обширных территориях Сибири и Дальнего Востока встречаются не менее удивительные и своеобразные ландшафты. Там, в необычных природных условиях – в вечной темноте и сырости холодных подземных полостей и на раскаленной солнцем поверхности камней, обитает целый мир неприметных и необычных существ, в исследовании которого биологи делают лишь первые шаги

Это безымянное ледниковое озеро в высокогорьях хребта Ергак-Таргак-Тайга (Саяны, Северная Тува), окружено каменными россыпями. Добраться до него можно только на вертолете или многодневным пешим переходом



Животный мир планеты на сегодняшний день достаточно хорошо изучен, однако до сих пор зоологи ежегодно описывают тысячи новых видов. Конечно, большинство из этих организмов – мелкие и невзрачные, к тому же обитают они обычно в далеких тропических лесах или глубинах океана. Так что открытие нового вида само по себе – не сенсация. Но совсем другое дело, когда новый вид удастся обнаружить не в экзотических труднодоступных ландшафтах, а в прямом смысле буквально «под ногами» – там, где уже перебивало немало народу, включая туристов.



КАК «РАСТУТ» КУРУМЫ?

Формирование каменных осыпей – результат геологического процесса выветривания. Первый фактор, способствующий образованию осыпей, – перепады температуры. Нагреваясь, разные участки каменной толщи расширяются неравномерно, в результате в них образуются трещины, сначала не шире волоса, а потом все более зияющие. Второй разрушительный фактор – влага. В холодную погоду вода, затекающая в трещины, замерзает. Расширяясь, лед действует как клин, и щели в камне начинают расти быстрее. Действие обоих факторов усиливает ветер: он увеличивает перепад температур и с силой вбивает в трещины капли дождя и снежный порошок.

В конечном счете, скалы распадаются на камни разного размера, от гравия до глыб размером с дом, формируя на склонах осыпи. При этом более крупные камни скатываются по склону дальше, образуя так называемые «языки». Образованию каменных развалов способствует и вечная мерзлота: камни, лежащие у поверхности, выталкиваются вверх подобно грибам.

Даже оторвавшись от материнской скалы, камни на осыпях не успокаиваются. Процессы эрозии продолжаются, и «каменные реки» медленно текут вниз под действием силы тяжести. Курумы подвижны, обломки в местах касания с соседями крошатся, образуя мелкозем, постепенно заполняющий внутренние полости каменного языка. Большие и малые землетрясения, просадки грунта, нередкие в горах, также тревожат курумы, придавая камням новое положение

Именно такими удивительными местообитаниями оказались каменные россыпи в горах, которые в Сибири называют *курумами*. Каждый год зоологи обнаруживают здесь новые виды жуков, пауков и даже бабочек, ближайшие родственники которых иногда живут на удалении тысяч километров!

Площадь каменных россыпей увеличивается с усилением континентальности климата, т. е. с ростом суточных и сезонных перепадов температуры и влажности. Поэтому в европейских горах они обычно расположены локально, а в Сибири занимают уже тысячи квадратных километров, формируя «каменные реки», иссякающие в таежном или степном поясе. На северо-востоке Азии и в центрально-азиатских высокогорьях они образуют уже настоящие «каменные моря», а в тундровой зоне встречаются на равнине вплоть до морского побережья.

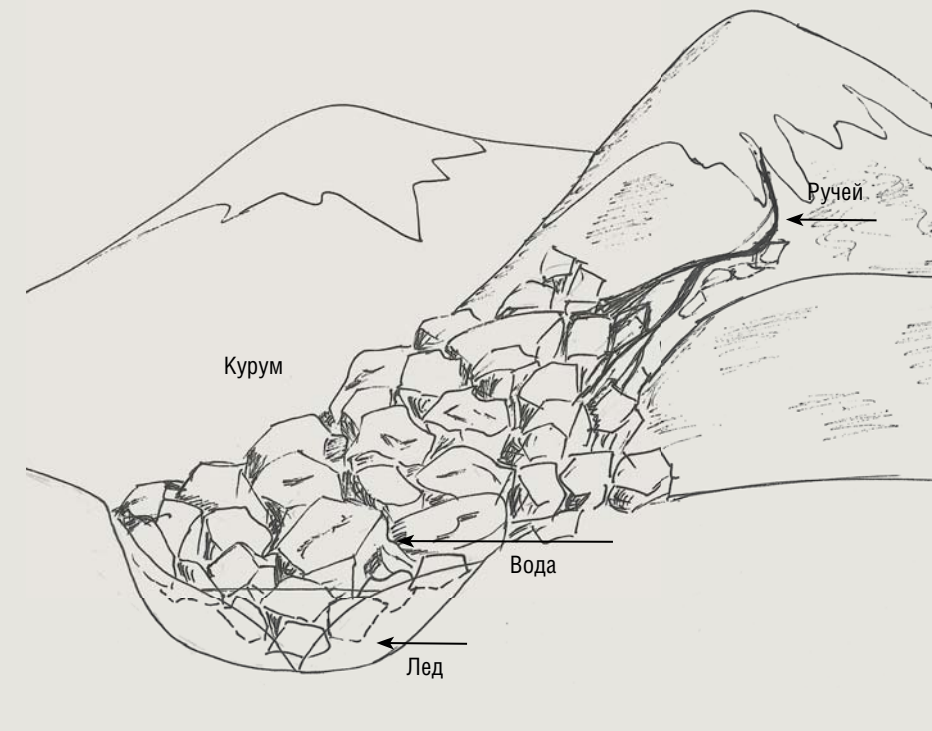
◀ Хребет Листвяга находится неподалеку от знаменитого Катунского хребта, главной вершиной которого является высочайшая гора азиатской России – Белуха (4506 м). Гребень хребта сильно разрушен и богат каменными россыпями. *Центральный Алтай, Казахстан*

Животное население таких «каменных рек» изучать непросто. Вручную можно собрать лишь малую часть беспозвоночных, ведь далеко не всякую глыбу можно перевернуть руками, а тяжелую технику в высокогорья не завезти. Обитатели россыпей редко попадают в ловушки, поскольку почти не выходят на поверхность и обладают развитым осязанием. К этому нужно добавить короткий период сезонной активности животных, а также труднодоступность некоторых высокогорий, куда можно добраться лишь пешком, с тяжелым рюкзаком за спиной. Поэтому неслучайно, что первые научные работы о специализированных обитателях каменных россыпей начали появляться лишь в 1980-е гг.

Пещера «наизнанку»

В чем состоит специфика природных условий каменной россыпи по сравнению с ближайшим горным склоном? Основных отличий три: высокая влажность, холод и темнота. Подобные условия характерны и для другого типа «скрытых» местообитаний – пещер. Можно даже сказать, что каменная россыпь – это пещера, «вывернутая наизнанку». Однако наряду со сходством между ними имеются и существенные различия.

Папоротники из рода костенец (*Asplenium*) – постоянные, хотя и нечасто встречающиеся, обитатели влажных затененных поверхностей скал



Влажные курумы – каменные россыпи с текущей водой – особенно привлекательны для многих петрофильных беспозвоночных.
Рис. Л. Залиш (ИГА СО РАН, Новосибирск)





ЛИШАЙНИКИ-ПИОНЕРЫ

Первыми из растений на поверхности курумов поселяются лишайники – удивительные симбиотические организмы, «составленные» из грибов и водорослей. Их слоевища (тела) растут чрезвычайно медленно, прибавляя в диаметре считанные миллиметры за годы. Тем не менее во влажных местообитаниях старые, слабо движущиеся курумы бывают полностью покрыты коркой лишайников.

Выделяемые лишайниками кислоты разрушают поверхность камня, а слоевища отмирают, способствуя накоплению мертвого органического вещества (детрита). Таким образом в мелкозем, заполняющий постепенно тело курума, добавляется плодородный компонент.

Высшие растения, однако, не спешат заселять курумы. Хотя под слоем камней и формируется подобие почвы, колонизировать ее растениям чрезвычайно сложно. Во-первых, на ее поверхность попадает недостаточно света. Во-вторых, там холодно: солнце не заглядывает в глубокие щели, поэтому лед, намерзший за зиму, не тает годами. И это еще не все: на «живой» курумник с близлежащих скал постоянно скатываются новые камни, которые погребают под собой формирующиеся растительные сообщества.

Поэтому высшие растения встречаются либо на окраинах каменных россыпей (причем эта флора бывает очень специфичной), либо на «старых» россыпях, которые уже закончили свое формирование и основательно забили грунт

Подвижные каменные осыпи, стекая со склонов на плоскую поверхность долин, превращаются в россыпи. Они постепенно покрываются лишайниками (вверху), а во влажных условиях – мхами (справа). Долинные каменные россыпи на хребте Листвяга (Центральный Алтай, Казахстан) и в Большехехцирском заповеднике (Хабаровский край)

Атмосферные осадки, просачиваясь сквозь каменную толщу курумника, стекают вниз по склону: в горах часто можно слышать, как под «каменной речкой» журчит настоящий ручей. Однако до этой воды порой приходится пробиваться сквозь несколько метров глыбового слоя. Но даже при отсутствии осадков влага постоянно поступает в курум из воздуха, конденсируясь на холодных каменных поверхностях (именно так – с помощью сложенных в кучу камней и щебня – иногда добывают воду в засушливых местах).

Неудивительно, что воздух в полостях в глубинных частях курума, как в пещерах и в почве, часто имеет стопроцентную влажность. Но в курумах более заметны сезонные колебания температуры, поэтому зимой вся вода в них замерзает.

Внутренние части курума никогда не прогреваются и имеют довольно постоянную низкую температуру. В них часто имеются ледяные линзы, которые образовались из дождевых осадков и набившегося за зиму снега. Порой курумы укрывают собой, как шубой, настоящие ледники, сформировавшиеся тысячи лет назад. Вода, конденсируясь из воздуха на остывших камнях,

Для пауков, живущих на поверхности камней (пауков-волков, скакунчиков и др.), пребывание на прогреваемой солнцем осыпи позволяет намного увеличить продолжительность теплого сезона. Они могут сохранять подвижность даже при отрицательных температурах, неспроста большинство этих пауков окрашено в темные «светопоглощающие» цвета. Поэтому ареалы этих обитателей курумов продвинуты дальше к северу и выше к вершинам, чем у их ближайших непетрофильных родственников. Справа – паук-бокоход (семейство Thomisidae) с прекрасной маскирующей окраской



стекает в глубину, постоянно питая тело ледника. В Европе наличие вечной мерзлоты характерно только для некоторых осыпей, а на северо-востоке Азии – для всех без исключения.

Как «аккумуляторы холода» особенно эффективны крупные глыбы, их наличие – обязательное условие существования значительных ледяных массивов под осыпями. Вместе с тем поверхность крупных камней, лежащих на поверхности, – один из самых «горячих» элементов горного ландшафта: она ощутимо нагрева-

ется даже зимой, а в жаркий летний день раскаляется до 50–60 °С! В результате на расстоянии в какой-нибудь метр, – от поверхности курума до его внутренних полостей, – формируется чрезвычайно крутой градиент температуры.

Внутри курумника камни лежат неплотно, образуя замкнутые полости-пустоты, соединяющиеся между собой сетью больших и малых переходов, куда никогда не попадает солнечный свет. Размер некоторых коридоров достаточен для передвижения небольших



Ногохвостики, или коллемболы, – мелкие почвенные членистоногие, ранее причисляемые к насекомым, в длину редко превышают 1 мм. При этом плотность их скоплений иногда бывает поистине впечатляющей, достигая сотен тысяч и более особей на кв. метр (вверху). В ротовом аппарате хищного жука-жужелицы *Leistus kryzhanovskii*, специализирующегося на ловле коллембол, имеются ряды направленных ко рту щетинок-шипов, которые не дают вырваться подвижной жертве (внизу слева)



Пищухи, называемые также сенокосками, в теплое время года сушат небольшие стожки растений на прогреваемых камнях курумов и используют их в качестве зимнего провианта

млекопитающих, таких как пищухи и даже лисы, по другим же едва ли протиснется и мелкий жучок.

Множество мелких обитателей курумов проводят в этом «беспросветном» холодном лабиринте всю жизнь, почти никогда не выбираясь на поверхность. И все же в такой жизни есть определенные преимущества. Например, в россыпях не живут землеройки – суперактивные мелкие хищные млекопитающие, а также холоднокровные амфибии и рептилии. Поэтому беспозвоночные обитатели курумов избавлены от пресса хищников, которые не могут охотиться при низких температурах. Мало там и паразитических насекомых и микроорганизмов, угнетающих популяции напочвенных животных в более удобных для жизни местообитаниях. Возможно, именно поэтому в бедных и холодных, но при этом безопасных местообитаниях сохранились такие древние насекомые, как тараканосверчки.

Кто в тереме живет?

Удивительно, но при всей суровости природных условий видовое богатство курумов весьма велико. Множество укрытий между большими и малыми камнями привлекает самых разнообразных животных, а резкий градиент температуры и влажности позволяет существовать по соседству видам с самыми разными экологическими предпочтениями.



◀ На каменистых берегах горных рек обитают виды, приспособленные к резким колебаниям уровня воды. Например, этот жук-жужелица *Nebria banksii* может провести под водой несколько часов

Особые условия среды курумов, характеризующиеся резким градиентом температуры и влажности, позволяют соседствовать видам с самыми разными экологическими предпочтениями. Крупные темные пауки-волки рода *Acantholycosa*, предпочитающие прогреваемые поверхности камней, активны днем, а реликтовый тараканосверчок *Grylloblattella pravdini* способен долгое время передвигаться по снегу. Самки бабочки-пяденицы из рода *Autotrichia* (внизу), обитающие исключительно на россыпях, имеют укороченные крылья и не способны к полету, подобно некоторым островным видам насекомых

Живые организмы, обитающие в каменных местообитаниях, называют ПЕТРОФИЛАМИ; тех же из них, которые не встречаются нигде, кроме каменных местообитаний, – ОБЛИГАТНЫМИ ПЕТРОФИЛАМИ или ЛИТОБИОНТАМИ

Пищевые цепи в экосистеме курумника устроены преимущественно по детритному типу. Органические остатки – крошки слоевищ лишайников, заносимые ветром и водой тела насекомых, кусочки растений, экскременты мелких млекопитающих и птиц, попадают в щели между камнями, где служат питательным субстратом для бактерий и микроскопических грибов. Последние, в свою очередь, служат пищей мелким членистоногим – микроскопическим клещам и ногохвосткам. Этот «наземный планктон» поедается множеством



Тараканосверчок



Паук-волк



более крупных хищных беспозвоночных – пауками, многоножками, муравьями и жуками.

Среди жуков имеется много петрофилов. На осыпях и в россыпях Алтае-Саянской горной системы значительным видовым богатством и высокой численностью отличаются жуки-жужелицы, причем некоторые представители родов *Nebria*, *Leistus* и др. являются исключительно литобионтами.

Среди прочих насекомых-литобионтов нужно отметить тараканосверчков – небольшой, но очень своеобразный примитивный отряд, известный с каменноугольного периода и процветавший в период от 300 до 200 млн лет назад. Большая часть тараканосверчков вымерла – до наших дней сохранилось единственное семейство (*Grylloblattidae*) с несколькими десятками видов (Стороженко, 1998). В Южной Сибири эти древние насекомые встречаются исключительно в каменных россыпях.

Известны и несколько родов бабочек, неотъемлемо связанные с каменными местообитаниями, например, медведицы (*Holarctia*) и пяденицы (*Autotrichia*). Гусеницы некоторых петрофильных бабочек питаются слоевищами лишайников.

Пауки, обитатели курумников, бывают очень подвижны и обычно встречаются на сухих и самых прогреваемых поверхностях. В нижних горизонтах курумов, где температура не поднимается выше +7°C, обитают холодоустойчивые арктические виды пауков.

Бродячие пауки-волки (семейство *Lycosidae*), активные днем, стремительно бросаются из темных щелей на залетевших на курумники насекомых, которых привлекали нагретые поверхности каменных глыб.

Окраска этой бабочки-пяденицы *Psodos sajana* позволяет ей хорошо маскироваться на поверхности камней, покрытых лишайниками

Пауки других семейств устраивают ловчие сети между камнями или селятся в «кустиках» лишайников.

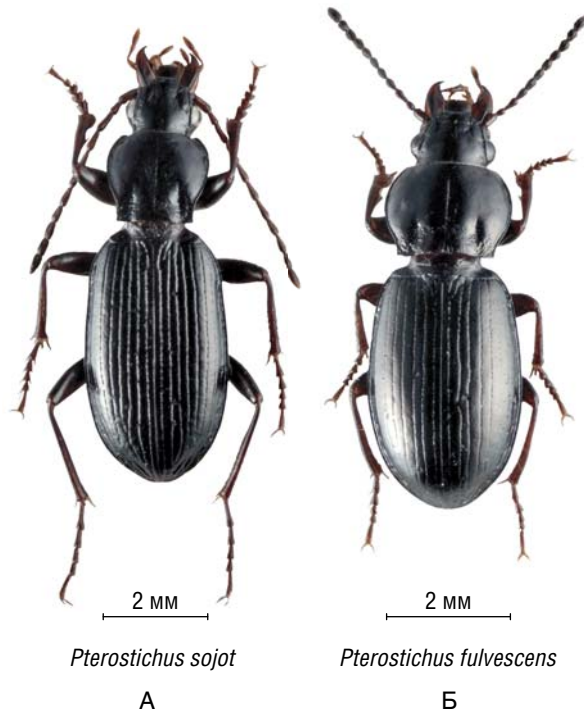
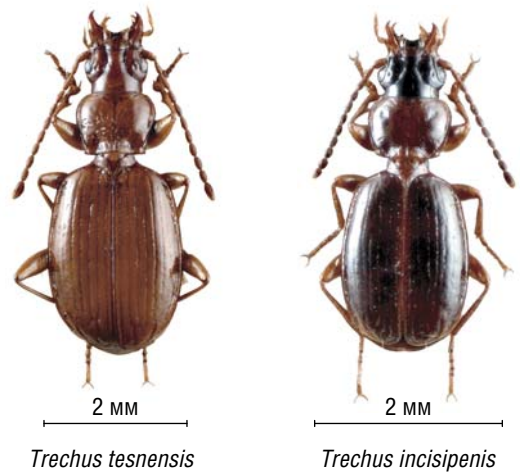
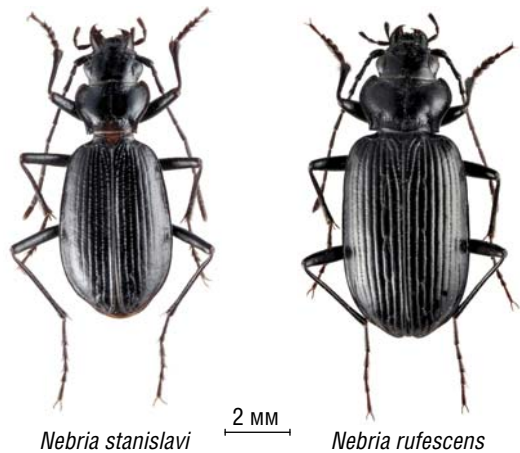
Обитают в курумах и млекопитающие: в высокогорьях в россыпях обычны снежные полевки и пищухи. Эти мелкие зверьки в россыпях находят только убежище, но не пищу: обычно они собирают растения поодаль, на поросших растительностью склонах.

Длинные ноги и тонкая талия

Удивительно, но многие обитатели «каменных островов», несмотря на неродственное происхождение и пространственную удаленность их местообитаний, обладают поразительным сходством своей морфологии и физиологии.

Например, благодаря низким температурам, царящим в глубине каменных осыпей практически круглый год, все их жители прошли жесткий отбор на холодовую устойчивость. При этом большинство «глубинных» петрофилов неспособно переносить сколько-нибудь длительное нагревание.

Образ жизни накладывает отчетливый отпечаток и на внешность многих обитающих в курумах беспозвоночных. Живущие в глубине курумов жуки, многоножки и прямокрылообразные насекомые обычно характеризуются длинными конечностями (ногами, усиками и т. д.). У типичных жителей подземных пустот имеется также весьма развитый набор специфических органов



Многомерный статистический анализ морфологических характеристик представителей различных видов жуков рода *Nebria* позволил выявить основные морфологические адаптации к жизни в каменистых местообитаниях. Эти характерные черты приспособления к жизни в курумах хорошо выражены у жужелицы *Nebria lyubechanskii*: уменьшенные глаза, уплощенное стройное тело с узкой перетяжкой между переднегрудью и среднегрудью, длинные ноги и усики, буроватая окраска покровов (справа)

осозания – щетинок, выполняющие у насекомых ту же функцию, что и «усы»-вибриссы у кошки. Причем чем глубже в каменной россыпи живут эти существа, тем их конечности и щетинки тоньше и длиннее – этим они напоминают жителей пещер.

Еще одно отличие литобионтов, проводящих свою жизнь в полостях и узких проходах между камнями – уплощенное тело. Для таких жуков характерны округленные «плечи» и узкая «талия» – перетяжка между передне- и среднегрудью, которая позволяет особи изгибать тело в одной или двух плоскостях.

Жители курумов относительно недавно перешли к существованию в темноте, к тому же небольшое количество света все же проникает в верхние части каменных осыпей. Поэтому хотя настоящие обитатели пещер, никогда не выходящие на поверхность, обычно вовсе лишены зрения, большинство обитателей россыпей имеют глаза, хотя и более «мелкие» по сравнению со своими ближайшими родственниками.

Широко известно, что яркое освещение способствует формированию темных покровов тела, поэтому жители пещер часто вовсе не имеют пигментов в коже, напоминая цветом проросшие в подвале картофельные ростки. Литобионты в этом смысле занимают промежуточное положение – их окраска, как правило, немного светлее, чем у «собратьев», живущих на открытой поверхности.

Одно из следствий подкаменного образа жизни – уменьшение подвижности насекомых. Как правило, под крепкими надкрыльями у петрофильных жуков отсутствуют крылья, так же как и у тараканосверчков. Причин этому несколько. Вспомним энтомофауну океанических островов, где погибает большинство обладателей крыльев, которых ветер уносит в океан. Курумы в горах, как и острова, также окружены непригодными для жизни петрофилов областями – ледяными пусты-

Образ жизни накладывает отчетливый отпечаток на внешность многих обитающих в курумах беспозвоночных, что хорошо видно при сравнении петрофильных жужелиц (А) с родственными им непетрофильными видами (Б). У петрофилов более длинные конечности, округленные «плечи» и тонкая «талия»



ОТ ЖУЖЕЛИЦЫ ДО... ТАКСЫ

Для изучения морфологических адаптаций к жизни в курумах у всех 38 видов рода *Nebria*, обитающих в Сибири и на Дальнем Востоке России, были измерены 15 морфологических признаков и вычислено 18 индексов с понятным биологическим смыслом. Их многомерный статистический анализ показал, что в пространстве первых главных компонент экологически сходные виды объединились в относительно компактные группы. Первую группу образовали наименее специализированные виды; вторую – малоспециализированные петрофилы, свойственные галечниковым берегам рек в предгорьях и среднегорьях, а также высокогорные виды, не связанные с камнями; третью – специализированные петрофилы, обитатели каменистых берегов рек и ручьев, свойственные в основном среднегорьям; четвертую – наиболее специализированные петрофилы, обитающие в высокогорьях, обычно на каменистых россыпях, вблизи снежников. В обособленную группу попали представители специализированного подрода *Eonebria*, обитающие под глубоко сидящими в почве камнями.

Оказалось, что увеличение «петрофильности» в первую очередь связано с уплощением тела, укрупнением головы, укорочением надкрыльев, уменьшением глаз и т.д. При этом ни один из этих показателей не является универсальным, т.к. у разных видов (в том числе специализированных) проявляется лишь часть основных адаптаций. Представители *Eonebria* продемонстрировали отклонение от основного тренда: для них характерно неуплощенное тело, относительно крупные глаза, а также очень сильно удлиненные конечности и очень суженная перетяжка.

Подобный статистический анализ был проделан и для более мелких жуков группы родов *Trechini*, также богато представленной петрофильными формами. Сравнительный анализ показал, что отношение ширины головы к основанию переднеспинки не зависит от размерного класса или систематической принадлежности и отражает лишь степень экологической специализации вида. Очевидно, что для охоты в узких подземных ходах предпочтительна большая голова с сильными челюстями, опирающимися на мощную подвижную переднюю часть тела. Подобные морфологические адаптации, только вызванные искусственным отбором, имеются у таких домашних животных, как таксы

нями либо, напротив, слишком теплыми низкогорьями. К тому же поскольку обитатели курумов редко и ненадолго покидают свою каменную обитель, такие мало используемые морфологические структуры, как крыло, с течением времени дегенерируют.

Terra incognita

С особенностями пространственного размещения и образа жизни петрофилов связан тот факт, что среди них имеется много *эндемичных*, т.е. свойственных только определенной географической местности, видов. Например, среди петрофильной энтомофауны Алтае-Саянской горной системы к эндемикам относится более 70% видов насекомых! Уровень эндемизма особенно велик (достигая 85%) у облигатных обитателей каменистых россыпей, тогда как у родственных им видов из других местообитаний процент эндемиков меньше почти на порядок.

Местом обитания (*ареалом*) эндемику часто служит изолированный горный хребет, а иногда – даже отде-

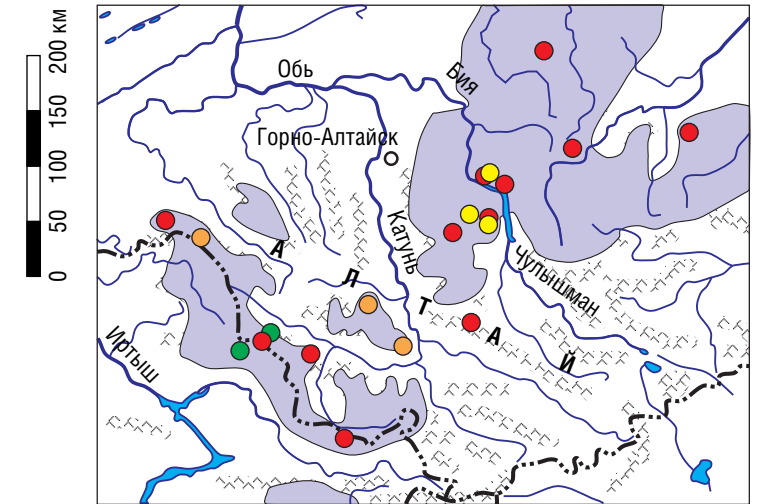
льная горная вершина. Ведь бескрылые формы не могут перебраться через долины с более сухим и теплым климатом, поэтому расселяются исключительно вдоль горных склонов. Например, подвид жука *Nebria arinae zinchenkoi* (Dudko, Schilencov, 2001) обитает только на двух невысоких вершинах Западного Алтая – Сержинский и Черепановский Белок. Их местообитания исчерпываются снежниками на россыпях, расположенных на склонах этих гор, и занимают всего несколько гектаров.

Как же образовалось это видовое богатство? Причину следует искать в климатических изменениях далекого прошлого. В плейстоцене, который недаром называют «ледниковой эпохой», теплые периоды регулярно сменялись холодными ледниковыми периодами. В межледниковья холодостойкие виды изолированно обитали в высокогорных убежищах над «теплыми» долинами. При похолодании же, напротив, долинские ледники разъединяли ранее непрерывные ареалы теплолюбивых видов. В любом случае длительная географическая изоляция приводила к образованию новых видов.

- *Grylloblattella*
- *Eraphiopsis*
- *Ipelates*
- *Amerizus*
- ☁ Осадки: >800 мм/год

Места находок реликтовых родов насекомых на Алтае и Западном Саяне располагаются исключительно на территориях с большим количеством осадков (800 мм в год и более).

Слева – разрушающиеся гранитные скалы на хребте Листвяга. Центральный Алтай, Казахстан

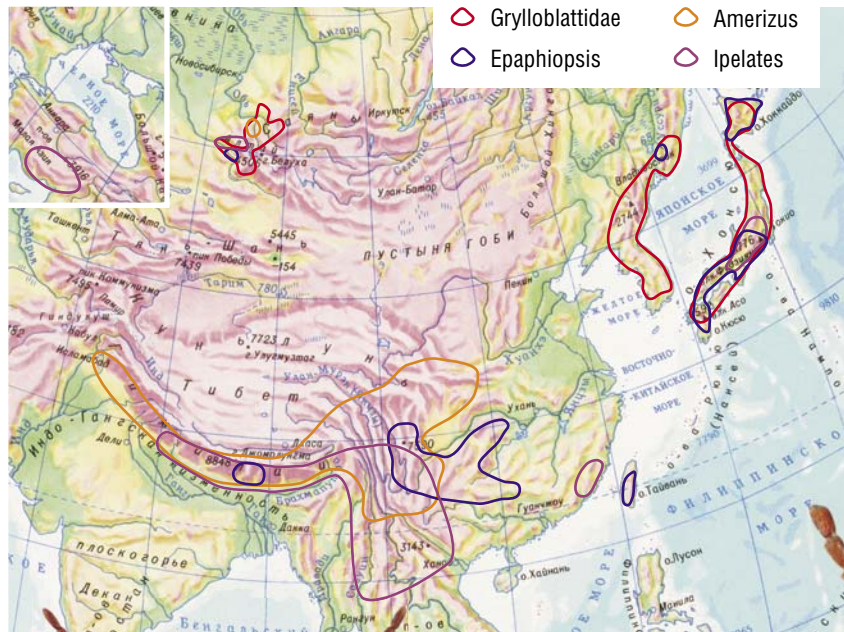


Крупная, ярко окрашенная жужелица *Pterostichus drescheri* распространена по всей Алтае-Саянской горной стране, и может служить ее своеобразной «визитной карточкой»

И сегодня многие группы петрофильных насекомых представляют собой мозаику видов и видовых групп, находящихся на разных стадиях дифференциации. Например, на Аляске группа петрофильных жуков рода *Nebria* обособилась от своих околородных предков около 400 тыс. лет назад, а дифференциация видов внутри этой группы проходила всего 50–15 тыс. лет назад, что подтверждается молекулярно-генетическими данными (Clarke *et al.*, 2001).

Неудивительно поэтому, что в таких крупных горных системах, как Алтае-Саянская горная страна, Кавказ и Альпы – центрах разнообразия петрофильных видов, постоянно находят неизвестные ранее виды членистоногих. Например, из известных на сегодня 120 видов облигатных петрофилов (жуков, бабочек и тараканосверчков), обитающих на Алтае и в Саянах, примерно пятая часть представляет собой новые для науки и еще не имеющие названий либо определенные предварительно виды; а еще 45 видов были описаны лишь в течение последних 25 лет.





При изменениях климата ареал некоторых видов сильно сокращается или смещается, в результате чего они могут сохраняться лишь на небольших территориях. Такие виды называют реликтами. Современные ареалы реликтовых представителей сем. тараканосверчков (*Grylloblattidae*) и субтропических родов жуков *Eraphiopsis* и *Amerizus* в Евразии представляют собой отдельные фрагменты. В Сибири и на Дальнем Востоке виды этих родов являются петрофилами – обитателями каменистых россыпей, своеобразные условия которых помогли им пережить неблагоприятные климатические условия плейстоцена



Eraphiopsis (Eraphiama) jacobson



Amerizus teles

1 мм



Ipelates altaicus

1 мм

Свидетели былого

Горные системы являются не только центрами видообразования: такие специфические местообитания, как курумники, стали своего рода «островками», где сохранились *реликты* – древние, некогда широко распространенные обитатели планеты.

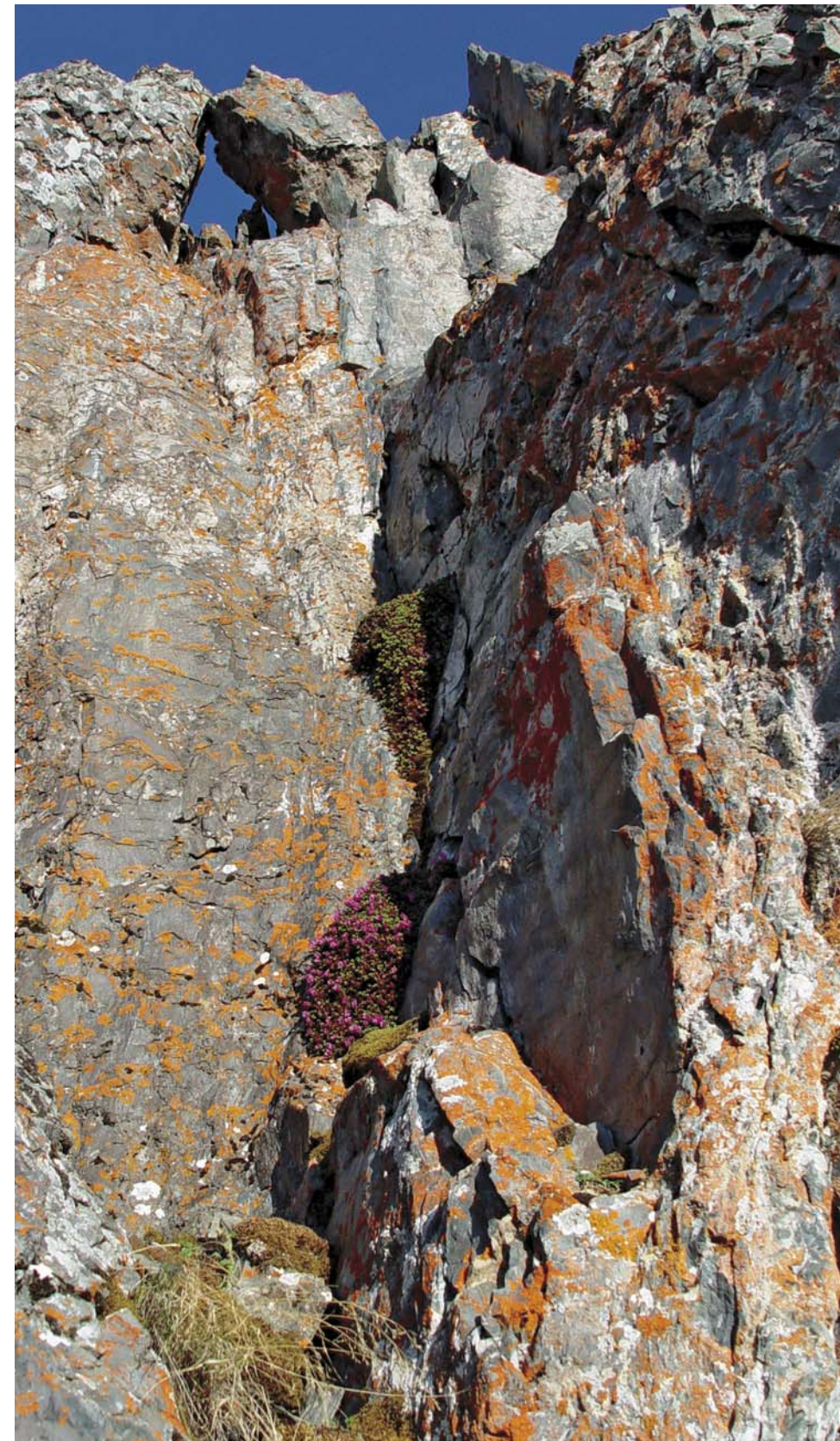
Яркий пример – уже упомянутые тараканосверчки. Современный ареал этого семейства разорван на три фрагмента, расположенных на расстоянии нескольких тысяч километров друг от друга: на Алтае, в Восточной Азии и на западе Северной Америки (Стороженко, 1998).

Похожие разрывы в ареалах имеются и у реликтовых представителей трех родов жуков – *Eraphiopsis*, *Ipelates* и *Amerizus*. Обитающие на Алтае виды этих родов являются локальными эндемиками с буквально точечными ареалами, к тому же все они обитают исключительно в подземных пустотах каменистых россыпей и обладают хорошо выраженными чертами приспособленности к этим необычным условиям.

Обнаружены эти эндемики были совсем недавно (Стороженко, 1998; Belousov, Dudko, 2010; Дудко, 2011). Так, например, первый алтайский вид тараканосверчка *Grylloblattella pravdini* был открыт только в 1984 г., а скрытноживущий жук *Ipelates altaicus* был описан в 2002 г. на основе находки одной (!) особи на Теректинском хребте (с тех пор удалось обнаружить еще только два экземпляра этого вида). Наконец, жук-жужелица *Amerizus teles* стал известен науке только в 2010 г.

Как же могли образоваться такие ограниченные и разорванные ареалы реликтов? Известно, что третичный период, характеризующийся теплым и влажным климатом, завершился 1,8 млн лет назад серией сухих и холодных ледниковых периодов. Во время оледенений почти вся тепло- и влаголюбивая фауна Сибири была уничтожена или отступила далеко на юг. Однако виды, адаптированные к обитанию в подземных пустотах в условиях относительно постоянной влажности и температуры, смогли пережить даже самое сильное оледенение.

Подушковидные формы растений-петрофитов, хорошо приспособленные к высыханию и ветрам, занимают малейшие углубления в скалах, вертикальные поверхности которых покрыты накипными лишайниками. Такие ландшафты встречаются в высокогорьях Западной Тувы





Каменные россыпи в горах Южной Сибири, населенные своеобразными животными, по сути являются «сухопутными островами» подобно пещерам, бессточным озерам или океаническим «черным курильщикам». Курумы как местообитания обладают уникальным сочетанием контрастных экологических условий, что способствует формированию множества параллельных морфологических и физиологических адаптаций у их обитателей. Изоляция этих «островов» наряду с климатическими колебаниями ускоряет видообразование. Поэтому каменные россыпи представляют собой удобный полигон для изучения эволюционных процессов, идущих буквально на наших глазах в ходе эксперимента, поставленного самой природой в пределах горного хребта или даже одной горной вершины.

Глубины этих серых и неприметных местообитаний хранят еще немало тайн и загадок – как и на настоящих островах, здесь находят себе убежище не только недавно образовавшиеся, еще неизвестные науке виды, но и живые свидетели минувших эпох.

Уникальность живого мира каменных осыпей делает их потенциальными объектами специальных природоохранных мероприятий, которые уже ведутся в странах Западной Европы. Ведь подобные редкие группы организмов можно чрезвычайно легко уничтожить, к примеру, начав разработку полезных ископаемых в горах; они также могут пострадать случайным образом в результате действия природных катастроф. Уничтожение же любого вида и даже одной изолированной популяции ведет к необратимой потере генетического разнообразия живого мира планеты.

Литература

Дудко Р.Ю. О реликтовых жесткокрылых (Coleoptera: Carabidae, Agyrtidae) с алтайско-восточноазиатским дизъюнктивным ареалом // *Евразийский энтومологический журнал*. 2011. Т. 10. Вып. 3. С. 349–360.

Стороженко С.Ю. Систематика филогения и эволюция гриллоблаттидовых насекомых (Insecta: Grylloblattida). Владивосток: Дальнаука. 1998. 207 с.

Belousov I., Dudko R. The first record of the genus *Amerizus* Chaudoir, 1868 (Coleoptera, Carabidae, Bembidiini) from Russia. *Amerizus teles* n.sp., a high altitude species from the Altai Mountains // *Entomologische Blätter für Biologie und Systematik der Käfer*. 2010. Bd. 106. S. 63–72.

Clarke T.E., Levin D.B., Kavanaugh D.H., Reimchen T.E. Rapid evolution in the *Nebria gregaria* group (Coleoptera: Carabidae) and the paleogeography of the Queen Charlotte Islands // *Evolution*. 2001. Vol. 55. No. 7. P. 1408–1418.

Dudko R. Yu., Shilenkov V.G. A review of the Palearctic species of the subgenus *Catonebria* Shilenkov (Coleoptera, Carabidae, *Nebria*). 1. *Nebria mellyi* Gebler group // *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*. 2001. T. 71. P. 63–82.

Подобные небольшие территории с благоприятными условиями обитания, по-видимому, располагались в самых влажных районах – на Западном и Северо-Восточном Алтае, т. е. именно там, где и были найдены реликты.

Есть мнение, что переход к «подземному» образу жизни имеет однонаправленный характер. Этот процесс образно называют «путем к вымиранию», поскольку такие специализированные виды теряют эволюционный потенциал и становятся тупиковыми ветвями. Однако в нашем случае только благодаря такой специализации тараканосверчки и представи-

тели «субтропических» родов жуков смогли пережить неблагоприятные условия и сохраниться до наших дней. И сейчас они являются живыми «осколками» фауны, которая процветала на Алтае миллионы лет назад.

Заметим, что все реликты имеют узкую экологическую мобильность и приурочены к строго определенным типам местообитаний, что, в сочетании с локальностью ареалов, делает их крайне уязвимыми. Смогут ли эти удивительные создания, пережившие ледниковый период, справиться с антропогенной нагрузкой, которая усиливается с каждым годом?

Каменные осыпи на вершинах влажных туманных хребтов Северо-Западного Алтая – местообитания реликтового жука *Ipelates altaicus* из маленького семейства Agyrtidae, близкого к мертвоедам. Фото Р. Дудко

В публикации использованы фото И. Любечанского (ландшафты, животные и растения в природе) и Р. Дудко (микрофотографии жуков)

Авторы благодарят к. б. н. С. В. Василенко, д. б. н. А. А. Легалова (Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск), к. б. н. И. А. Белоусова (Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург) за информацию по ряду групп петрофильных насекомых

ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ! ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ КОМПЛЕКТЫ И ОТДЕЛЬНЫЕ НОМЕРА ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2011 гг.

2011

<p>№ 1 (37)</p>  <p>КОСМИЧЕСКИЙ УРОК РУССКОГО</p>	<p>№ 2 (38)</p>  <p>БЕЗ СТРАХА И УПРЕКА</p>	<p>№ 3 (39)</p>  <p>СОКРОВИЩА Суть не деньги, а ДОБРЫЕ ДЕЛА</p>	<p>№ 4 (40)</p>  <p>М. В. ЛОМОНОСОВ: «К приумножению пользы и славы Отечества»</p>	<p>№ 5 (41)</p>  <p>Дмитрий Менделеев: «Широко простирает химия руки свои в дела человеческие»</p>	<p>№ 6 (42)</p>  <p>СЕМЬ ВЕКОВ РОССИЙСКОЙ ИСТОРИИ</p>
--	--	--	---	---	--

Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2011 г. – 900 рублей
Цена одного номера без скидки – 160 рублей

2010

<p>№ 1 (31)</p>  <p>НАУКА МОЛОДАЯ</p>	<p>№ 2 (32)</p>  <p>АКАДЕМИЯ ОБЩЕСТВУ</p>	<p>№ 3 (33)</p>  <p>«МЫ ВЫПИЛИ СОМУ, мы стали бессмертными...»</p>	<p>№ 4 (34)</p>  <p>ЧАРЛЗ ДАРВИН – великий популяризатор эволюционной идеи</p>	<p>№ 5 (35)</p>  <p>ИЗУЧАТЬ НЕ РАЗРУШАЯ</p>	<p>№ 6 (36)</p>  <p>ГЕОМОТОР – ДВИГАТЕЛЬ КАТАСТРОФ</p>
--	--	---	---	--	---

Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2010 г. – 800 рублей
Цена одного номера без скидки – 150 рублей

2009

<p>№ 1 (25)</p>  <p>ТЕМНЫЕ ИГРЫ ВСЕЛЕННОЙ</p>	<p>№ 2 (26)</p>  <p>ПУТЬ НА ВОСТОК</p>	<p>№ 3 (27)</p>  <p>ЯДЕРНАЯ ТОПКА ЗЕМЛИ</p>	<p>№ 4 (28)</p>  <p>ВИВАТ УНИВЕР!</p>	<p>№ 5 (29)</p>  <p>ВИРУС ГРИППА</p>	<p>№ 6 (30)</p>  <p>МИР ГЛАЗАМИ НАУКИ</p>
--	---	--	--	---	--

Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2009 г. – 700 рублей
Цена одного номера без скидки – 130 рублей

2008

<p>№ 1 (19)</p>  <p>В тени ДИНОЗАВРОВ</p>	<p>№ 2 (20)</p>  <p>ОПИСТОХОЗ через ПРИЗМУ ГЕНОМА</p>	<p>№ 3 (21)</p>  <p>КУЗНЕЧИК дорогой</p>	<p>№ 4 (22)</p>  <p>Герои ПОСТГЕНОМНОЙ ЭРЫ</p>	<p>№ 5 (23)</p>  <p>НАНОтехнологии: вчера, сегодня, завтра</p>	<p>№ 6 (24)</p>  <p>ЗВЕЗДНЫЕ ВРАТА</p>
--	--	---	---	---	---

Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2008 г. – 540 рублей
Цена одного номера без скидки – 100 рублей

ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ! ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ КОМПЛЕКТЫ И ОТДЕЛЬНЫЕ НОМЕРА ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2011 гг.

2007

<p>№ 1 (13)</p>  <p>ЧИНГИС-ХАН: взгляд из третьего тысячелетия</p>	<p>№ 2 (14)</p>  <p>ГАРМОНИЯ триединства</p>	<p>№ 3 (15)</p>  <p>НЕФТЬ: герои не нашего времени</p>	<p>№ 4 (16)</p>  <p>АЛМАЗНЫЙ ПУТЬ длиной в три миллиарда лет</p>	<p>№ 5 (17)</p>  <p>В поисках энергии БОЛЬШОГО ВЗРЫВА</p>	<p>№ 6 (18)</p>  <p>По следам академического отряда ВЕЛИКОЙ СЕВЕРНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ</p>
---	---	---	---	--	--

Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2007 г. – 480 рублей
Цена одного номера без скидки – 90 рублей

2006

<p>№ 1 (7)</p>  <p>НАУКА как образ жизни</p>	<p>№ 2 (8)</p>  <p>КЛАД тагарского жреца</p>	<p>№ 3 (9)</p>  <p>ПТИЧИЙ ГРИПП. Новая глава в старой истории</p>	<p>№ 4 (10)</p>  <p>ДИАТОМЕИ – строители стеклянных замков</p>	<p>№ 5 (11)</p>  <p>ПЕРВЫЙ после Первой мировой</p>	<p>№ 6 (12)</p>  <p>ЗАГАДКИ «ржавой» ДНК</p>
---	---	--	---	--	---

Льготная цена комплекта из 6 номеров за 2006 г. – 420 рублей
Цена одного номера без скидки – 80 рублей

2005

<p>№ 1 (4)</p>  <p>ОТКРЫТИЕ СИБИРИ электронная версия</p>	<p>№ 2 (5)</p>  <p>В поисках ЭНЕРГИИ</p>	<p>№ 3 (6)</p>  <p>ПО СЛЕДАМ Великой Северной экспедиции</p>
--	---	---

Льготная цена комплекта из 2 номеров за 2005 г. – 100 руб.
Цена одного номера без скидки – 60 рублей

2004

<p>№ 0 (1)</p>  <p>Происхождение и ЭВОЛЮЦИЯ жизни на Земле электронная версия</p>	<p>№ 1 (2)</p>  <p>Славное море, священный БАЙКАЛ электронная версия</p>	<p>№ 2 (3)</p>  <p>ПРИРОДА – первый генный инженер электронная версия</p>
--	---	--

Льготная цена коллекции журналов из 39 номеров – 4 100 рублей
! В стоимость покупки не входят расходы на доставку журналов

Вы также можете заказать электронные версии отдельных статей (в формате pdf).
Более подробная информация на нашем сайте www.sciencefirsthand.ru или по телефону: 8 (383) 330-27-22

Оформить покупку отдельных номеров журнала вы можете в редакции и на сайтах: www.sciencefirsthand.ru, www.sibsciencenews.org

ГОДОВЫЕ И ТЕМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКТЫ

ЖУРНАЛА «НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК» (ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ)

можно приобрести наложенным платежом

через Почту России (только на территории РФ), заполнив заявку:

1. Прошу оформить покупку следующих комплектов/номеров журнала (выбрать нужное):

Годовые комплекты журналов по ЛЬГОТНОЙ цене:			на русском языке	на английском языке
2005 г.	2 номера	100 руб.	<input type="checkbox"/>	3 номера <input type="checkbox"/> 130 руб.
2006 г.	6 номеров	420 руб.	<input type="checkbox"/>	2 номера <input type="checkbox"/> 100 руб.
2007 г.	6 номеров	480 руб.	<input type="checkbox"/>	7 номеров <input type="checkbox"/> 490 руб.
2008 г.	6 номеров	540 руб.	<input type="checkbox"/>	6 номеров <input type="checkbox"/> 480 руб.
2009 г.	6 номеров	700 руб.	<input type="checkbox"/>	
2010 г.	6 номеров	800 руб.	<input type="checkbox"/>	
2011 г.	6 номеров	900 руб.	<input type="checkbox"/>	
Коллекцию журналов по ЛЬГОТНОЙ цене: 39 номеров			4 100 руб. <input type="checkbox"/>	18 номеров <input type="checkbox"/> 1200 руб.
Тематические комплекты по ЛЬГОТНОЙ цене:				
№ 1 «Эволюция и происхождение жизни	7 номеров	500 руб.	<input type="checkbox"/>	
№ 2 «Археология»	15 номеров	1 530 руб.	<input type="checkbox"/>	
№ 3 «История освоения Сибири:				
Великая Северная Экспедиция»	5 номеров	390 руб.	<input type="checkbox"/>	
№ 4 «История науки»	21 номер	2 210 руб.	<input type="checkbox"/>	
№ 5 «Коренные народы Сибири»	11 номеров	1 050 руб.	<input type="checkbox"/>	
№ 6 «Человек»	18 номеров	1 810 руб.	<input type="checkbox"/>	
№ 7 «Реактивные самолеты»	7 номеров	600 руб.	<input type="checkbox"/>	

Отдельные номера журнала:

на русском языке			цена одного номера, руб.	на русском языке			цена одного номера, руб.
2012 № 1 (43) <input type="checkbox"/>	№ 2 (44) <input type="checkbox"/>		160	№ 1 (7) <input type="checkbox"/>	№ 2 (8) <input type="checkbox"/>	№ 3 (9) <input type="checkbox"/>	80
№ 6 (42) <input type="checkbox"/>	№ 5 (41) <input type="checkbox"/>	№ 4 (40) <input type="checkbox"/>	160	2006 № 4 (10) <input type="checkbox"/>	№ 5 (11) <input type="checkbox"/>	№ 6 (12) <input type="checkbox"/>	
2011 № 1 (37) <input type="checkbox"/>	№ 2 (38) <input type="checkbox"/>	№ 3 (39) <input type="checkbox"/>		2005 № 2 (5) <input type="checkbox"/>	№ 3 (6) <input type="checkbox"/>		60
2010 № 1 (31) <input type="checkbox"/>	№ 2 (32) <input type="checkbox"/>	№ 3 (33) <input type="checkbox"/>	140	на английском языке			цена одного номера, руб.
№ 4 (34) <input type="checkbox"/>	№ 5 (35) <input type="checkbox"/>	№ 6 (36) <input type="checkbox"/>		2007 № 1 (13) <input type="checkbox"/>	№ 2 (14) <input type="checkbox"/>	№ 3 (15) <input type="checkbox"/>	90
2009 № 1 (25) <input type="checkbox"/>	№ 2 (26) <input type="checkbox"/>	№ 3 (27) <input type="checkbox"/>	130	№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	№ 6 (18) <input type="checkbox"/>	
№ 4 (28) <input type="checkbox"/>	№ 5 (29) <input type="checkbox"/>	№ 6 (30) <input type="checkbox"/>		2006 № 1 (6) <input type="checkbox"/>	№ 2 (7) <input type="checkbox"/>	№ 3 (8) <input type="checkbox"/>	80
2008 № 1 (19) <input type="checkbox"/>	№ 2 (20) <input type="checkbox"/>	№ 3 (21) <input type="checkbox"/>	100	№ 4 (9) <input type="checkbox"/>	№ 5 (10) <input type="checkbox"/>	№ 6 (11) <input type="checkbox"/>	№ 7 (12) <input type="checkbox"/>
№ 4 (22) <input type="checkbox"/>	№ 5 (23) <input type="checkbox"/>	№ 6 (24) <input type="checkbox"/>		2005 № 1 (4) <input type="checkbox"/>	№ 2 (5) <input type="checkbox"/>		60
2007 № 1 (13) <input type="checkbox"/>	№ 2 (14) <input type="checkbox"/>	№ 3 (15) <input type="checkbox"/>	90	2004 № 0 (1) <input type="checkbox"/>	№ 1 (2) <input type="checkbox"/>	№ 2 (3) <input type="checkbox"/>	50
№ 4 (16) <input type="checkbox"/>	№ 5 (17) <input type="checkbox"/>	№ 6 (18) <input type="checkbox"/>					

2. Ф. И. О. _____

3. Почтовый адрес: _____
Индекс _____ Город _____

Тел./факс _____ E-mail _____

Комплекты и отдельные номера журналов можно купить в редакции по адресу:

г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 11, тел./факс: (383) 330-27-22, 330-26-67, e-mail: zakaz@infolio-press.ru

Отдельные статьи в формате PDF можно заказать на сайте: www.sciencefirsthand.ru

! В стоимость покупки не входят расходы на доставку журналов

При заказе ТРЕХ и более номеров журнала – СКИДКА 5 %

ПОДПИСКА для ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ

Стоимость подписки на полугодие – 570 руб.
Стоимость подписки на год – 1140 руб.

● Чтобы оформить подписку на 2012 г., **заполните заявку:**

● **Оплатите** стоимость подписки в любом отделении Сбербанка, заполнив прилагаемую ниже Форму № ПД-4 или почтовым переводом по платежным реквизитам, указанным на с. 128

● **Вышлите** заполненную заявку и копию квитанции о переводе денег по адресу: 630090, г. Новосибирск, а/я 96. Редакция журнала «НАУКА из первых рук» или **отправьте по факсу:** 8 (383) 330-26-67

1. Прошу оформить подписку на журнал «НАУКА из первых рук» на первое, второе полугодие, год (нужное подчеркнуть)
Количество экземпляров _____

2. Ф. И. О. _____

3. Почтовый адрес: _____
Индекс _____

Тел./факс _____ E-mail _____

Копия квитанции об оплате от _____
прилагается (дата оплаты)

ИЗВЕЩЕНИЕ	Форма № ПД-4
Кассир	Получатель платежа: ООО «ИНФОЛИО» ИНН 5408148073 Банк: ОАО «МДМ БАНК», г. Новосибирск, БИК 045004821 Счет получателя 40702810603120002214 К/с 30101810100000000821 Ф. И. О., адрес _____
	Журнал «НАУКА из первых рук» Цена Кол-во Сумма
Кассир	Плательщик Всего
	Получатель платежа: ООО «ИНФОЛИО» ИНН 5408148073 Банк: ОАО «МДМ БАНК», г. Новосибирск, БИК 045004821 Счет получателя 40702810603120002214 К/с 30101810100000000821 Ф. И. О., адрес _____
Кассир	Журнал «НАУКА из первых рук» Цена Кол-во Сумма
	Плательщик Всего

Вы также можете оформить подписку на сайте: www.sciencefirsthand.ru

В стоимость подписки включена доставка журналов заказной бандеролью

ПОДПИСКА для ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

Стоимость подписки на полугодие – 1200 руб.
Стоимость подписки на год – 2400 руб.



Чтобы оформить подписку на 2012 г., заполните заявку:

1. Полное наименование организации _____
 2. Юридический адрес _____
 3. ИНН/КПП _____
 4. Тел./ факс _____
 5. E-mail _____
 6. Контактное лицо (Ф.И.О. полностью) _____
 7. Ваши реквизиты для получения изданий по почте _____
Почтовый адрес (включая индекс) _____
 8. Получатель издания в организации (отдел, Ф.И.О.) _____
 9. Прошу выслать счет на подписку
журнала «НАУКА из первых рук» на первое, второе полугодие, год (нужное подчеркнуть),
количество экземпляров _____
- почтой факсом e-mail

и вышлите ее по адресу:

Редакция журнала
«НАУКА из первых рук»
630090, г. Новосибирск,
а/я 96

или отправьте по факсу:
8 (383) 330-26-67

или по e-mail: zakaz@infolio-press.ru

Счет на оплату будет выслан
в течение трех рабочих дней после
получения заявки

По всем вопросам обращаться:

Тел.: 8 (383) 330-27-22.

Факс: 8 (383) 330-26-67,

e-mail: zakaz@infolio-press.ru

Вы также можете оформить
подписку на нашем сайте:
www.sciencefirsthand.ru
www.sibsciencenews.org

Платежные реквизиты:

ООО «ИНФОЛИО»,
ИНН 5408148073
КПП 540801001
Р/счет 407 02 810 603 120 002 214
в ОАО «МДМ БАНК»,
г. Новосибирск
Кор/счет 30101810100000000821,
БИК 045004821

Подписка по каталогам:

Каталог агентства
«Роспечать» (стр. 269):
индекс 46495
Объединенный каталог
«Пресса России» (стр. 375):
индекс 42272; on-line: www.prensa-rf.ru

Подписка on-line

Агентство «Деловая пресса»: www.delpress.ru
Интернет магазин «PRESS cafe»:
www.presscafe.ru
Книга Сервис: www.akc.ru
Интер-Почта 2003: www.interpochta.ru
МК-периодика: www.periodicals.ru
Информнаука: www.informnauka.com





Ушканы острова, небольшой архипелаг в средней котловине оз. Байкал, представляет собой четыре вершины Академического хребта, возвышающиеся над водой. В конце мая – начале июня, когда озеро освобождается от ледяного покрова, прибрежные валуны и каменистые пляжи архипелага превращаются в самое крупное на озере лежбище уникальной байкальской нерпы. *Фото В. Короткоручко*



ISSN 18-10-3960



9771810396003 44