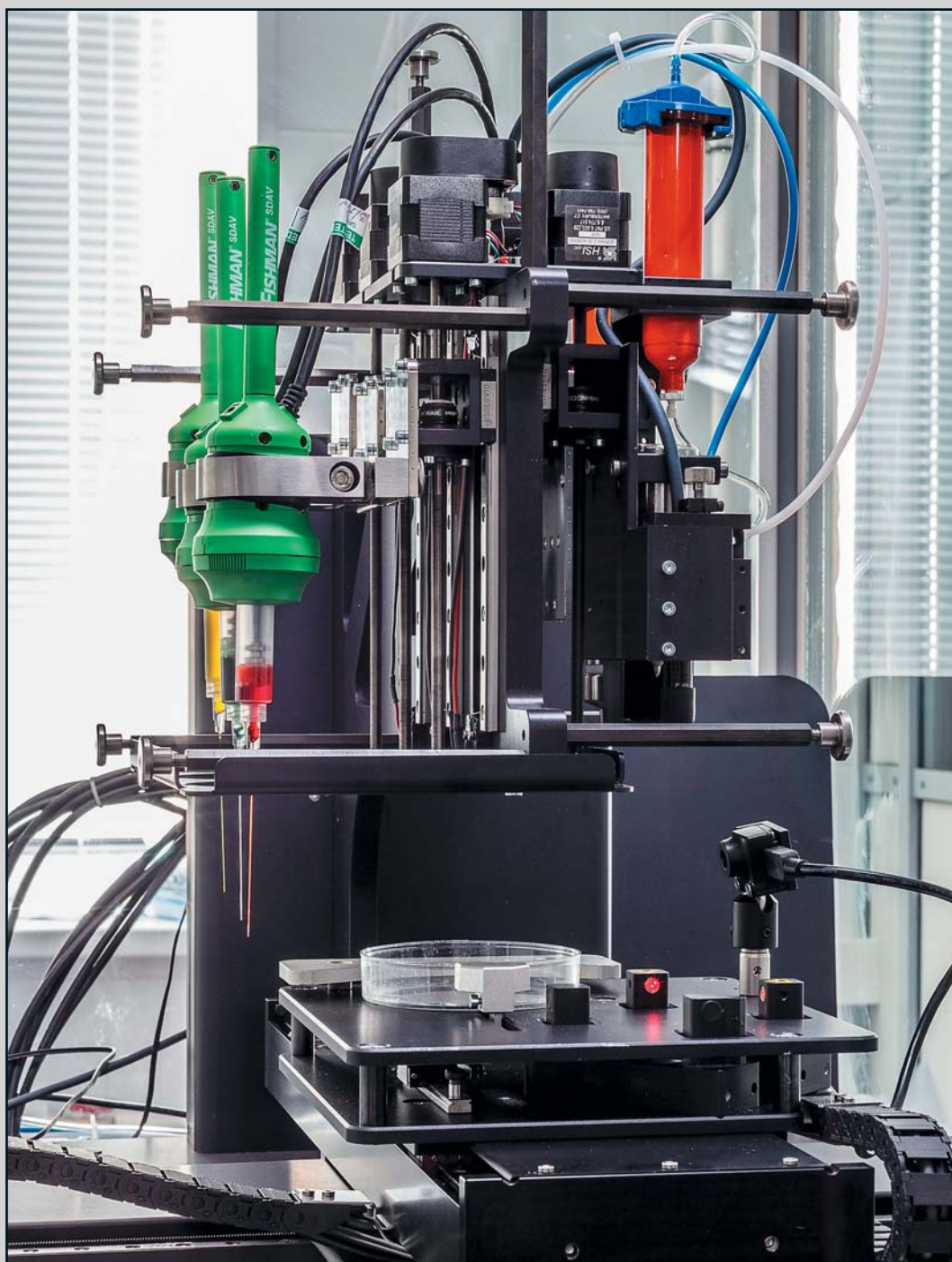


ПРОДА

2 15



В НОМЕРЕ:**3** **Волынский А.Л.**
Зависят ли свойства полимеров от их объема?

Нанокompозиты зачастую приобретают новые качества по отношению к объемным материалам. Не составляют исключения и полимеры: при линейном размере менее 50 нм их фундаментальные свойства резко изменяются.

14 **Расницын А.П.**
Стратегии эволюционного успеха насекомых

К настоящему времени описано более миллиона видов насекомых, что составляет примерно две трети от общего числа видов царства животных. В чем же причины столь значительного разнообразия этой группы?

21 **Шарков А.А.**
Геологический феномен ураново-редкометалльных месторождений

Экзотические органогенно-фосфатные месторождения представляют собой особый тип ураново-редкометалльных образований, связанных с фоссилизованными костными остатками ихтиофауны. Они известны только в одной формации Земли — майкопской, олигоцен-раннемиоценового возраста.

31 **Корнеева В.А.**
Ингибитор из кукурузы на страже свертывания крови

У человека свертывание крови может запускаться от контакта с чужеродными поверхностями, например, со стенками пробирки во время забора крови. Этот процесс подавляется специальным ингибитором, выделенным из зерен кукурузы. По какому же механизму работает этот белок?

38 **Дробышевский С.В.**
«Европейский папуас», или «человек мира»: мужчина с Маркиной горы

До недавнего времени считали, что человек с Маркиной горы по особенностям в строении черепа очень похож на папуасов. Однако при анализе митохондриальной и ядерной ДНК останков, обнаруженных на стоянке Костенки XIV, генетического родства с жителями Меланезии не обнаружено.

43 **Черных Е.Н.**
Кочевой мир Евразии: номады Запада в конце бронзового века

В позднем бронзовом веке в Евразии существовала гигантская Западноазиатская металлургическая провинция. Об основных этапах развития ее культур, уникальных археологических памятниках, а также странных и труднообъяснимых парадоксах рассказывается в третьей статье цикла, посвященного истории кочевых племен нашего континента.

Научные сообщения**56** **Кудан Е.В., Гладкая И.С., Буланова Е.А., Хесуани Ю.Дж., Миронов В.А.****Как напечатать щитовидную железу****Келлер Н.Б.****Одиночные кораллы: питание и морфология (64)****Резонанс****68** **Кузнецов В.Г.**
Еще раз о кремнях**72** **Федоров П.П., Попов А.И.**
Китайский вариант**77** **Гапон Д.А.**
«Конечно, будем знать»
К 150-летию со дня рождения
Дмитрия Иосифовича Ивановского**88** **Новые книги****89** **Кин Н.О., Савинова Т.Н.**
А.А.Булавкина-Ончукова: экспедиция длиною в жизнь

CONTENTS:

3 **Volynsky A.L.** **Do Properties of Polymers Dependent on their Volume?**

Nanocomposites often acquire new properties compared to bulk materials. Polymers are no exception to this rule: at linear dimension being less than 50 nanometers, their basic properties change drastically.

14 **Rasnitzin A.P.** **Strategies of Evolutionary Success in Insects**

To date, more than one million species of insects were described, which comprises around two thirds of the total number of animal species. Why the diversity of this group is so significant?

21 **Sharkov A.A.** **Geological Phenomenon of Uranium-Rare Earth Deposits**

Exotic organogenic-phosphate deposits are the specific type of uranium-rare earth formations associated to fossilized bone remains of fish fauna. They are known in only one geologic formation of the world, namely Maikop formation, of Oligocene-Miocene age.

31 **Korneeva V.A.** **Inhibitor from Corn on Guard of Blood Clotting**

In humans blood clotting can be triggered by contact with foreign surfaces, for example with test tube walls during blood sampling. This process is suppressed by a special inhibitor extracted from corn grain. What is the mechanism of action of this protein?

38 **Drobyshevsky S.V.**

«European Papuan», or «Human of the World»: Man from Markina Hill

Until recently it was believed that a man from Markina Hill on the structural features of the skull is very similar to the Papuans. However, the analysis of mitochondrial and nuclear DNA from remains found at Kostenki found no genetic relationship with the people of Melanesia.

43 **Chernykh E.N.**

Nomadic Realm of Eurasia: Nomads of the West at the End of Bronze Age

In the Late Bronze Age a giant West Asian Metallurgical Province existed in Eurasia. The main periods of its cultural development, unique archaeological monuments and strange and difficult to explain paradoxes of its history are described in the third article of the cycle devoted to nomadic tribes of our continent.

Scientific Communications

56 **Kudan E.V., Gladkaya I.S., Bulanova E.A., Khesuani Yu.J., Mironov V.A.**

How to Print the Thyroid Gland

Keller N.B.

Solitary Corrals: Feeding and Morphology (64)

Resonance

68 **Kuznetsov V.G.**

Once Again about the Flints

72 **Fedorov P.P., Popov A.I.** **Chinese Variant**

77 **Gapon D.A.**

«Of Course, We Will Know»

To 150th anniversary of Dmitry Iosifovich Ivanovsky

88

New Books

Encounters With Forgotten

89 **Kin N.O., Savinova T.N.**

A.A.Bulavina-Onchukova: Expedition as Long as the Life

Зависят ли свойства полимеров от их объема?

А.Л.Волынский

В последние годы в научной литературе и даже в средствах массовой информации активно обсуждаются перспективы получения разного рода нанокompозитов. На разработку технологических основ создания этих объектов выделяются огромные средства, поскольку с прогрессом в данной области связываются надежды развития самых разных отраслей промышленности и бытовых сторон нашей жизни. Получение нанокompозитов предусматривает измельчение вещества до наноразмеров, что влечет за собой очень серьезные и разнообразные изменения его свойств, открывающие реальную возможность создать новые виды материалов.

Полимеры и полимерные материалы занимают существенное место в технике, технологии и в быту благодаря их особым, часто уникальным характеристикам. Естественно, что исследование влияния нанобъемных ограничений на их структуру и свойства также претерпевает сегодня бурное развитие [1, 2]. В данной статье мы попытаемся кратко охарактеризовать это влияние.

Природа уникальности

Прежде чем перейти к рассмотрению вопроса, сформулированного в заголовке статьи, необходимо вспомнить основные,



Александр Львович Волынский, член-корреспондент РАН, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — структура и механика полимеров.

базовые отличия полимеров от низкомолекулярных веществ. Напомним, что полимерная молекула (макромолекула) представляет собой последовательность обычных молекул, соединенных в длинные цепочки. Важно отметить, что химическая природа, реакционная способность и многие другие свойства таких составных молекул часто мало отличаются от таковых у исходных молекул, находящихся в свободном состоянии. Тем не менее полимеры давно стали объектом отдельной, вполне самостоятельной области науки. Причина заключается исключительно в том, что возникшие в результате полимеризации макромолекулы обладают уникальным качеством, характерным только для полимеров. Речь идет, разумеется, о гибкости макромолекул, т.е. способности изменять свою форму (или, как говорят химики, *конформацию*) под действием внешнего напряжения или теплового движения. Молекулы/атомы низкомолекулярных веществ всегда идентичны: в аморфном/жидком или кристаллическом состоянии; в объеме, где они со всех сторон окружены соседями; на поверхности, где с одной из сторон они соседней не имеют; находясь под действием механических напряжений, электрических или магнитных полей и т.д. В то же время полимерные молекулы изменяют свою форму при практически любых воздействиях, что и определяет весь комплекс их уникальных свойств. Идентичные по химической природе полимеры, в которых макромолекулы имеют отличающиеся друг от друга конформации, имеют и разные свойства.

Рассмотрим проявление гибкости макромолекул на примере такого важнейшего свойства, как способность к деформации. На рис.1 схематически представлена молекулярная структура аморфного полимера до того, как он был подвергнут деформации растяжения, и после этого процесса. Хорошо видно, что в результате растяжения хаотически перепутанные в объеме исходного полимера макромолекулы благодаря своей гибкости изменяют конформацию (вытягиваются в направлении действующей силы) и взаимно ориентируются. Более того, если с растянутого полимера снять механическое напряжение (освободить из растягивающего устройства), то растянутый даже во много раз полимер немедленно восстановит свои размеры. Мы с вами неоднократно наблюдали это явление в повседневной жизни. Если отпустить растянутую резинку, она больно ударит нас по пальцам. Этот элементарный пример прямо свидетельствует о том, что изменение конформации макромолекул решительным образом изменяет макроскопические свойства полимера как материала.

Никакое низкомолекулярное вещество не способно продемонстрировать подобное свойство (физики называют его большой обратимой деформацией), поскольку этот процесс связан исключительно с изменением конформации макромолекул, к которому низкомолекулярные вещества по определению не способны. Мы не будем здесь анализировать природу большой обратной деформации, подробно изученную и изложенную в многочисленных учебниках, отметим только, что эта уникальная деформация может быть реализована в полимерах, находящихся в так называемом высокоэластическом состоянии.

Напомним, что аморфные полимеры могут находиться по крайней мере в двух физических со-

стояниях — стеклообразном и высокоэластическом (каучукоподобном), рассмотренном выше (рис.1). Все их свойства, и в первую очередь механические, в этих двух состояниях резко отличаются друг от друга. Стеклообразные полимеры обладают высокими механическими показателями (модулем упругости и прочностью). Такие материалы — основа для изготовления, например, органического стекла и разного рода пластмасс — широко используются для получения конструкционных пластиков и во многих других областях, в связи с чем их производство сегодня исчисляется миллионами тонн.

Не менее ценными представляются полимеры, находящиеся в высокоэластическом состоянии. На их базе производят автомобильные и авиационные шины, разного рода резиновые шланги и уплотнители, поглотители вибрации и т.д. Каждый линейный полимер может пребывать в первом или втором состоянии в зависимости от температуры, что задает условия, при которых его можно использовать. Так, прочный пластик полистирол (ПС) при температуре выше 100°C превращается в каучукоподобный продукт с низким модулем упругости и способностью к большим обратимым деформациям. И наоборот, хорошо известный и широко используемый натуральный каучук (НК) ниже -70°C превращается в хрупкий стеклообразный продукт. Подобные трансформации свойств аморфных полимеров обусловлены такой важной их характеристикой, как температура стеклования (T_c). Температура стеклования полимеров задается в первую очередь их гибкостью, т.е. уникальным свойством, которое мы определили выше. Не будем здесь подробно рассматривать физический механизм процесса стеклования, детально изложенный в учебной литературе, а еще раз подчеркнем, что выше этой температуры полимер находится в высокоэластическом состоянии, а ниже — в стеклообразном. Чем больше T_c полимера, тем меньше гибкость его макромолекул, и наоборот. Итак, T_c — важнейшая характеристика аморфного полимера, определяющая его главное свойство (гибкость), а значит и области практического использования.

Стеклование и кристаллизация в нанобъеме

Теперь перейдем к рассмотрению вопроса, как объемные ограничения могут повлиять на T_c аморфного полимера. Для этого специалистам пришлось решить две важные задачи: научиться измельчать полимеры до наносостояния и измерять T_c в объектах столь малого объема. Обе проблемы были успешно преодолены, и к середине 90-х годов прошлого века были получены первые результаты.

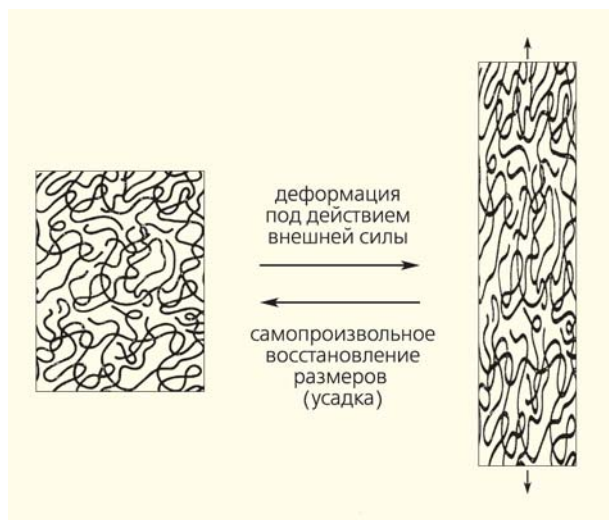


Рис.1. Схема молекулярных перестроек, которые сопровождают растяжение и усадку полимера, находящегося в высокоэластическом состоянии.

На рис.2 показана зависимость T_c полистирола от толщины изготовленной из него пленки, из которой следует, что температура стеклования начинает стремительно снижаться, когда толщина полимерной пленки становится меньше 70–80 нм. Величина такого понижения T_c может достигать многих десятков и даже сотен градусов. Механизм обнаруженного явления в полной мере не ясен до сих пор, хотя разумные предположения на этот счет достаточно подробно освещены в литературе [3]. Зависимость, представленная на рис.2, имеет важное практическое значение. Химик-технолог обязательно должен знать, какова температура стеклования полимера, который он выбирает для решения тех или иных практических задач. Очевидно, что ориентация на значение T_c , которое можно взять из справочника (пунктирная линия на рис.2), приведет к серьезным ошибкам в том случае, если используемый полимер измельчен до наносоостояния.

Итак, диспергирование аморфного полимера до наноразмеров решающим образом влияет на его T_c . В связи с этим важно подчеркнуть, что указанное обстоятельство оказывает сильнейшее влияние и на процесс кристаллизации полимера, который подробнее будет рассмотрен ниже. Здесь лишь отметим, что кристаллизация полимера складывается из двух этапов: образования зародышей кристаллизации, инициирующего ее процесс, и собственно роста кристаллов. Возникновение зародышей возможно в определенном температурном интервале (рис.3).

Рисунок 3 демонстрирует, что зародыши кристаллизации образуются в температурном интервале между точками стеклования и плавления полимера. Это и понятно: ниже температуры стеклования отсутствует крупномасштабная молекулярная

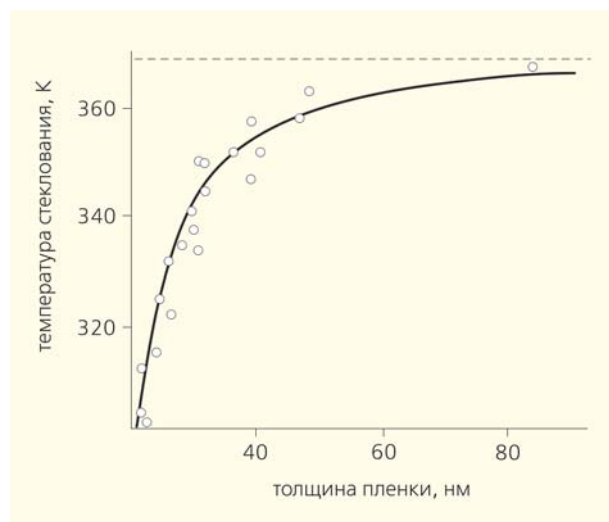


Рис.2. Зависимость температуры стеклования пленок ПС от их толщины. Пунктирная линия показывает температуру стеклования блочного монолитного полистирола [3].

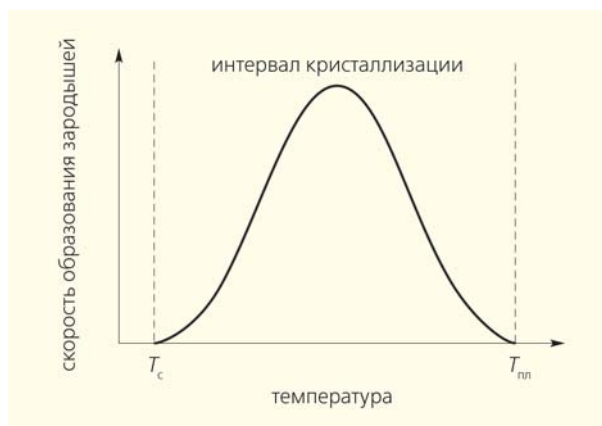


Рис.3. Зависимость скорости образования зародышей кристаллизации полимера от температуры.

подвижность полимера, обеспечивающая саму возможность процесса кристаллизации. Выше температуры плавления кристаллизация полимера, очевидно, также невозможна. Изменение T_c полимера на многие десятки градусов (рис.2) может сильнейшим образом сдвигать интервал кристаллизации полимера, что имеет важное фундаментальное и прикладное значение. Таким образом, диспергирование полимера до наноразмеров расширяет область его высокоэластического состояния на десятки градусов и соответственно уменьшает температурную область стеклообразного состояния.

Зародыши на старте

Итак, для кристаллизации вещества из раствора/расплава необходимо наличие зародышей кристаллизации. Как правило, в реальных жидких растворах/расплавах присутствуют случайные частицы, например, пылинки коллоидных размеров, разного рода примеси и т.д. Эти частички способны адсорбировать на своей поверхности кристаллизующееся вещество, в результате чего и образуется готовый зародыш, способный начать процесс кристаллизации. Такой вид зародышеобразования называют гетерогенным. Более того, когда необходимо облегчить, скажем, ускорить процесс кристаллизации, в раствор/расплав полимера вводят искусственные зародышеобразователи (рис.4).

Хорошо видно, что в чистом, блочном полимере полиэтиленоксиде (ПЭО) содержится относительно немного гетерогенных зародышей, запускающих его кристаллизацию с образованием сферолитов, т.е. сферических кристаллов, растущих из некоторого центра до тех пор, пока они не заполнят весь объем, занятый полимером. По мере увеличения количества вводимых зародышей число центров кристаллизации закономерно возрастает, в связи с чем сферолитов возникает больше

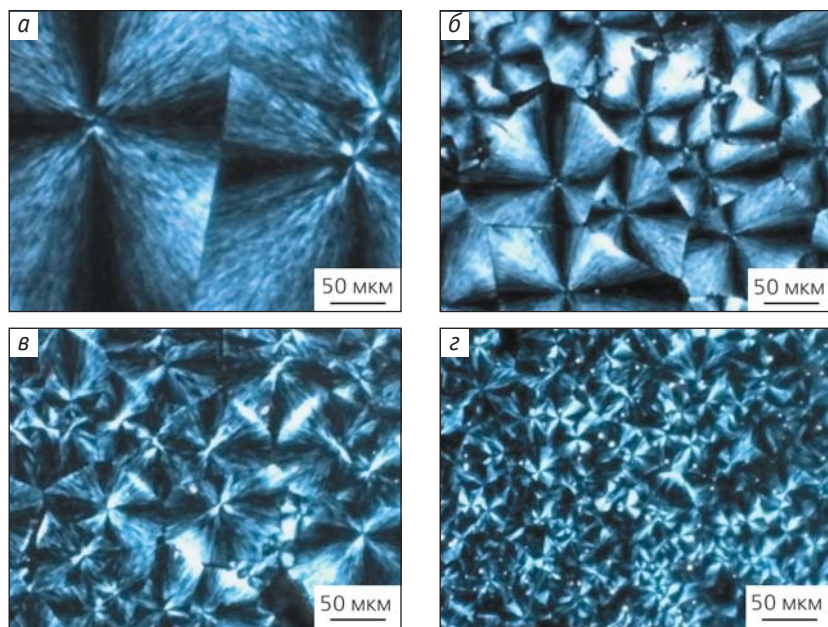


Рис.4. Микрофотографии кристаллической структуры чистого полиэтиленоксида (ПЭО, а) и ПЭО, в расплав которого было добавлены 1 (б), 5 (в) и 9 (г) процентов наночастиц двуоксида кремния в качестве гетерогенного зародышеобразователя (оптический микроскоп) [4].

и, как следствие, уменьшаются их размеры. Регулирование параметров кристаллической структуры полимера (в рассматриваемом случае — размеров сферолитов) имеет и важное прикладное значение. Уменьшение размеров сферолитов, в частности, заметно улучшает (оптимизирует) механические свойства полипропилена (ПП) [5].

Возникает вопрос: а что будет, если мы каким-либо образом уберем из раствора/расплава все случайные частицы и тем самым предотвратим гетерогенное зародышеобразование? Надо отметить, что сделать это весьма непросто, однако именно дробление вещества на наноразмерные домены позволяет достичь указанной цели. Рассмотрим, что произойдет с раствором/расплавом кристаллизующегося полимера, если мы будем дробить его на отдельные, все меньшие по размерам изолированные домены. На рис.5,а схематически

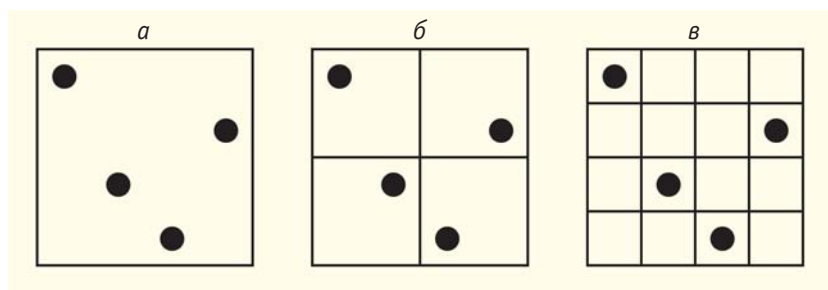


Рис.5. Схематическое изображение распределения гетерогенных зародышей кристаллизации полимера в его доменах разного размера.

представлен фрагмент объема расплавленного полимера, имеющего макроскопические размеры. Этот объем содержит определенное количество гетерогенных зародышей, количество которых определяет число сферолитов, возникающих при кристаллизации полимера. Что будет происходить в указанном расплаве, если мы начнем последовательно делить наш объем на все меньшие изолированные домены? Рисунки 5,б,в иллюстрируют эту ситуацию.

Сначала в каждом независимом домене будут содержаться гетерогенные зародыши (обозначены черными кружками), в связи с чем механизм кристаллизации в них ничем не будет отличаться от процесса, имеющего место в исходном макрообъеме (рис.5,б). Однако, начиная с некоторого критического размера образующихся доменов, гетерогенный зародыш окажется не в каждом из них

(рис.5,в). Чем мельче будут образующиеся домены, тем большее их число не получит таких зародышей, т.е. тем больше станет доменов, свободных от них. Реальные количества «свободных» и имеющих гетерогенные зародыши доменов могут заметно отличаться друг от друга. Так, например, в системе из блоксополимера ПЭО (кристаллизующийся блок) и полибутадиена концентрация микродоменов в структуре блоксополимера (по данным трансмиссионной микроскопии) составляет 10^{16} см^{-3} , тогда как концентрация высокоактивных гетерогенностей (зародышей) в самом ПЭО — 10^6 см^{-3} [6].

А что же будет происходить при охлаждении доменов вещества, не содержащих гетерогенных зародышей? Сможет ли закристаллизоваться вещество, не содержащее готовых центров кристаллизации? Оказывается, такой способ кристаллизации вполне возможен. Однако, поскольку вообще без зародышей раствор/расплав вещества закристаллизоваться не способен, он организует, создает такие зародыши самостоятельно. По мере охлаждения расплава/раствора в нем в силу вероятностных факторов возникают некие области, атомы/молекулы которых расположены достаточно организованно. Однако тепловое движение непрерывно смещает указанные атомы из

этого упорядоченного состояния и пытается его разрушить. Но в конце концов, при достаточно низких температурах, упорядоченные зародышевые структуры (физики называют их флуктуациями) становятся вполне устойчивыми и сами могут служить зародышами кристаллизации. Такой вид зародышеобразования называется гомогенным. Очевидно, что при этом необходимо охладить раствор/расплав полимера в значительно большей степени, чем в случае гетерогенного зародышеобразования.

Итак, в высокодисперсных системах (содержащих большое количество маленьких, наноразмерных доменов) на основе кристаллизующихся полимеров инициирование кристаллизации может происходить по разным механизмам. Это обстоятельство приводит к явлению так называемой фракционированной кристаллизации, при которой зарождение кристаллов в различных доменах осуществляется по различным механизмам, а следовательно, и весь процесс кристаллизации будет происходить по-разному, и в частности при разных температурах.

Как измельчить полимер

Прежде чем перейти к рассмотрению особенностей кристаллизации полимеров при нанометровых объемных ограничениях, необходимо кратко коснуться вопроса о том, каким образом можно измельчить полимер до таких размеров. Диспергирование вещества — задача непростая, поскольку приходится «работать» против поверхностных сил, которые всегда «стремятся» уменьшить его межфазную поверхность. Тем не менее химики разработали довольно много методов приготовления полимеров, имеющих нанометровые размеры; остановимся на двух из них.

Весьма популярный и эффективный способ создать нанообъемные ограничения для кристаллизующегося полимера — метод так называемой силовой сборки многослойных полимерных систем [7]. Этот процесс осуществляется путем соэкструзии (параллельного выдавливания расплавов через щелевую фильеру), что позволяет получить пленки, состоящие из практически любого числа слоев несовместимых полимеров.

Важно отметить, что при этом удастся регулировать толщину чередующихся слоев в широких пределах — от микрометрового до нанометрового уровня. Структура подобного рода многослойных полимерных пленок представлена на рис.6. Очевидно, что если хотя бы один из слоев в такой системе состоит из кристаллизующегося полимера, возникает очень удобная и эффективная возможность исследования его кристаллизации в слоях практически любой толщины.

Толщина слоев оказывает сильнейшее влияние на морфологию способного к кристаллизации

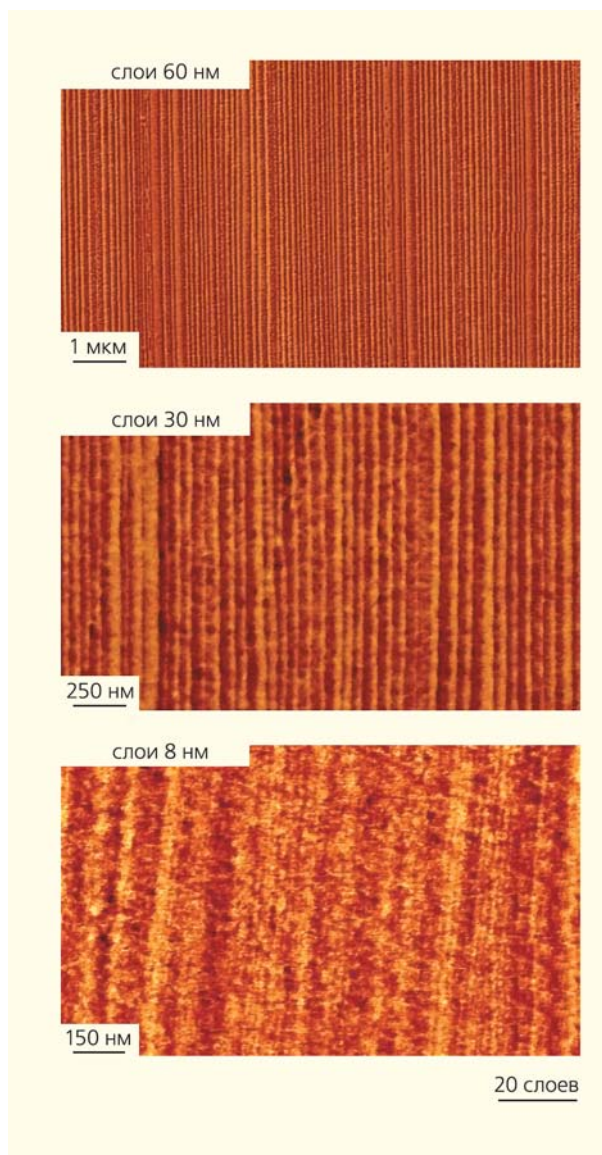


Рис.6. Топографическое изображение поперечного среза многослойных пленок на основе двух несовместимых полимеров (атомно-силовой микроскоп) [8]. Пленки получены методом силовой сборки многослойных полимерных систем и имеют различное количество слоев.

полимера, включенного в такие многослойные пленки. На рис.7 схематически представлена эволюция морфологических форм кристаллизующегося полимера по мере уменьшения толщины слоев, которыми он ограничен. Выше толщин слоев от 10 мкм структура полимера состоит из традиционных трехмерных сферолитов. При толщинах в 1 мкм и менее при кристаллизации полимера образуются сплюснутые двумерные сферолиты (дискоиды). Дальнейшее уменьшение толщины слоев (до 100 нм) препятствует образованию сферолитов, и кристаллизация происходит в виде отдельных стопок плоских пластинок (ламелей). И на-

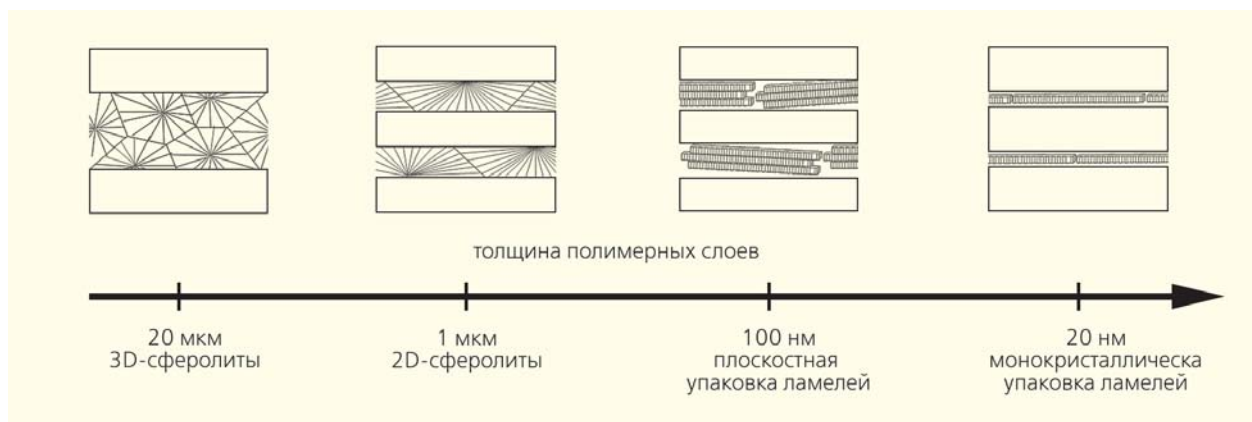


Рис.7. Структурная эволюция кристаллических слоев полимера в зависимости от их толщины в многослойных пленках, полученных методом силовой сборки многослойных полимерных систем [7].

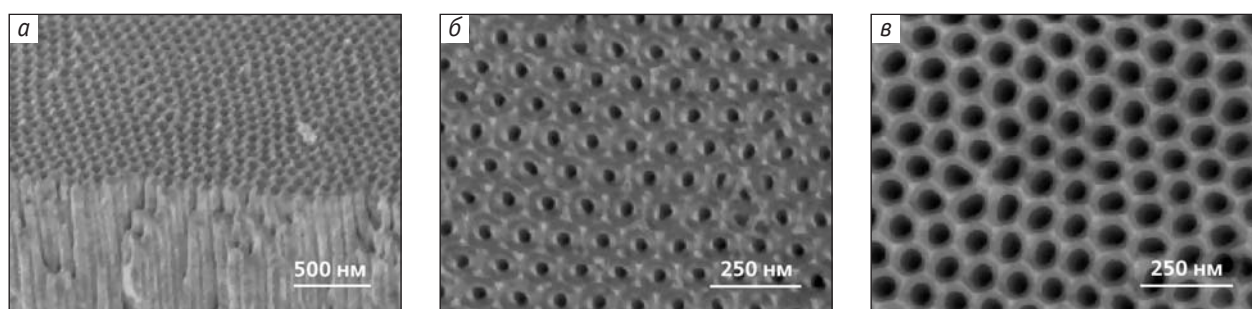


Рис.8. Микрофотографии ОАП-темплатов с диаметром цилиндрических каналов: 35 нм, вид сбоку (а); 35 нм, вид внешней поверхности (б) и 65 нм, вид внешней поверхности (в) (сканирующий электронный микроскоп) [9].

конец, при толщинах меньше 20 нм полимер кристаллизуется в виде отдельных ламелей, строго ориентированных вдоль направления ограничивающих слоев полимера.

Другой действенный способ устроить нановolumные ограничения для кристаллизующегося полимера — использовать так называемые темплаты, т.е. пластины, которые пронизаны системой прямолинейных цилиндрических каналов, расположенных параллельно друг другу в жестких матрицах [9]. Жесткие нанопористые оксидные алюминиевые пластины (ОАП) получают методом электрохимической анодизации.

На рис.8 приведены микрофотографии поверхности нескольких ОАП-темплатов с различным диаметром цилиндрических каналов. Заполнение прямолинейных каналов в темплатах полимером позволяет по сути диспергировать его до наноразмерных агрегатов. Важно отметить, что диаметр пор в таких темплатах можно регулировать в широких пределах, — это дает возможность изучать зависимости различных свойств полимера от его геометрических размеров.

Нанопористые алюминиевые темплаты, заполненные расплавом/раствором полимера, легко растворяются (например, в щелочах), в результате

чего полимер может быть получен в виде наностержней (нанопроволоки) или нанотрубок.

На рис.9 представлены продукты, которые позволяют изучать свойства полимеров в наносоостоянии. Свойства такого рода нанобъектов были предметом многочисленных исследований, и к настоящему времени накопился обширный материал, позволяющий сделать некоторые обобщения.

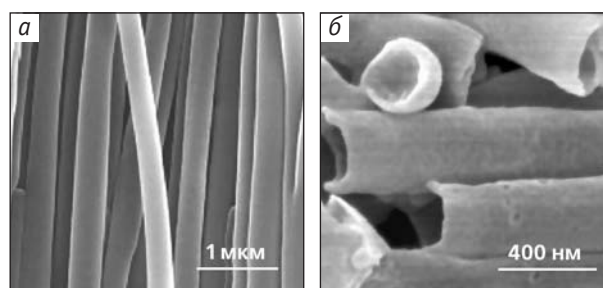


Рис.9. Микрофотографии наностержней из синдиотакического ПС (а) [10] и нанотрубок из поливинилиденфторида (ПВФ) (б) [11], полученных путем заполнения алюминиевой пористой матрицы расплавом ПС (а) и раствором ПВФ в диметилформамиде (б) с последующим растворением Al-матрицы (сканирующий электронный микроскоп).

Теплофизика нанобъема

Для исследования фазовых переходов в кристаллизующихся полимерах, как и для других твердых тел, наиболее эффективен метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), который позволяет контролировать температуру и теплоту кристаллизации в веществах вообще и в полимерах в частности. Метод ДСК заключается в измерении теплоты фазовых переходов кристаллизующихся веществ. С этой целью исследуемое вещество нагревают (охлаждают) с постоянной скоростью (термин «сканирующий» относится именно к изменению температуры) и одновременно измеряют количество выделяемой (поглощаемой) веществом теплоты. Если вещество при некоторой температуре плавится, тепло, очевидно, при этом поглощается, что выражается в появлении пика на термограмме. Площадь пика как раз и характеризует теплоту (энтальпию) фазового перехода, в данном случае процесса плавления.

Рассмотрим подробнее влияние нанобъемных ограничений на процесс кристаллизации такого хорошо изученного полимера, как полипропилен (рис.10) [12]. В этом исследовании изучали кристаллизацию блочного, массивного образца

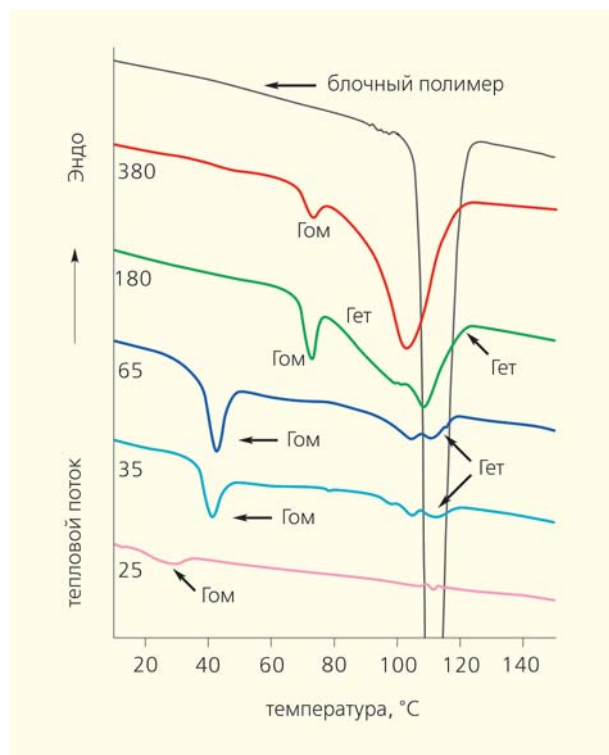


Рис.10. ДСК-термограммы кристаллизации полипропилена (ПП) в массивном (блочном) состоянии и в цилиндрических порах ОАП-темплата. Цифры у кривых — диаметр пор в нанометрах; пики кристаллизации, проходившей при гетерогенном зародышеобразовании, — Гет; при гомогенном зародышеобразовании — Гом [12].

ПП (верхняя кривая) и ПП, введенного в наноразмерные цилиндрические поры различного диаметра в алюминиевом темплате.

Хорошо видно, что блочный полимер кристаллизуется примерно при температуре 115°C, давая один очень интенсивный пик кристаллизации. Как мы уже отмечали, кристаллизация в этом случае инициируется гетерогенным зародышем (об этом свидетельствует, в частности, ее высокая температура). Включение полимера в нанопоры диаметром 380 нм дает уже два пика кристаллизации: при 70 и 105°C. Сильное переохлаждение подсказывает, что можно думать о гомогенном характере зародышеобразования в ПП, кристаллизующемся при 70°C. Второй наблюдаемый на термограмме пик (при 105°C) говорит о том, что часть доменов кристаллизуется с помощью другого механизма — посредством гетерогенного зародышеобразования, характерная температура которого, однако, стала несколько ниже. Как следует из рис.10, при последовательном уменьшении размеров фазы ПП (вплоть до 25 нм) вклад гетерогенного зародышеобразования в процесс кристаллизации непрерывно снижается, а гомогенного — увеличивается. При наименьших из исследованных объемных ограничений (диаметр пор 25 нм) кристаллизация инициируется исключительно гомогенным зародышеобразованием, что доказывается высокой степенью переохлаждения (разница между температурой кристаллизации блочного полимера и диспергированного в 25-нанометровых доменах составляет около 100°C). Важно отметить, что явления, рассмотренные в данном разделе на примере ПП, оказываются общими для любых кристаллических полимеров. Наблюдаемое наличие нескольких пиков кристаллизации говорит о фракционированном ее характере в узких порах.

Итак, объемные ограничения в пределах 10—50 нм сильнейшим образом влияют на такие важнейшие характеристики полимера, как его температура стеклования, температура и теплота плавления, степень кристалличности и т.д. А что будет, если объем полимера попытаться уменьшить в еще большей степени? Вообще говоря, это сложная задача. Тем не менее существуют так называемые цеолиты — природные и искусственные кристаллы, пронизанные полостями и каналами (окнами) размером 0.2—1.5 нм. Кроме цеолитов есть довольно обширный класс слоистых наносиликатов, типичные представители которых — монтмориллониты. Кристаллическая структура таких минералов содержит параллельно расположенные плоские силикатные пластины, между которыми имеется зазор в 0.8—1.0 нм. Если заполнить каналы в подобных объектах полимером, то, очевидно, удастся добиться его еще большей дисперсности, чем в рассмотренных выше случаях.

Типичный размер молекулярных клубков составляет десятки нанометров, в связи с чем казалось, что сформулированная выше задача невы-

полнима. Однако ученые все же сумели ввести полимеры в столь узкие пространства. Выяснилось, что полимеры легко сорбируются и цеолитами, и нанослоевыми силикатами. Возникает вопрос: каким образом клубки полимера, имеющие размеры, которые существенно превышают диаметр пор, эффективно проникают в них? Ответ заключается в уникальных особенностях молекулярного движения длинных цепных полимерных молекул. Оказывается [13], цепные молекулы благодаря своей гибкости способны к так называемому репационному, т.е. «змееподобному», поступательному молекулярному движению (рис.11).

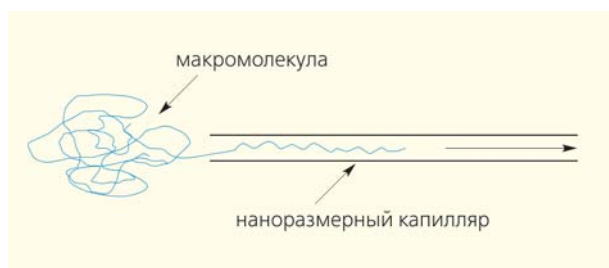


Рис.11. Схема миграции полимерной цепи в пору, имеющую меньший диаметр, чем размер макромолекулярного клубка.

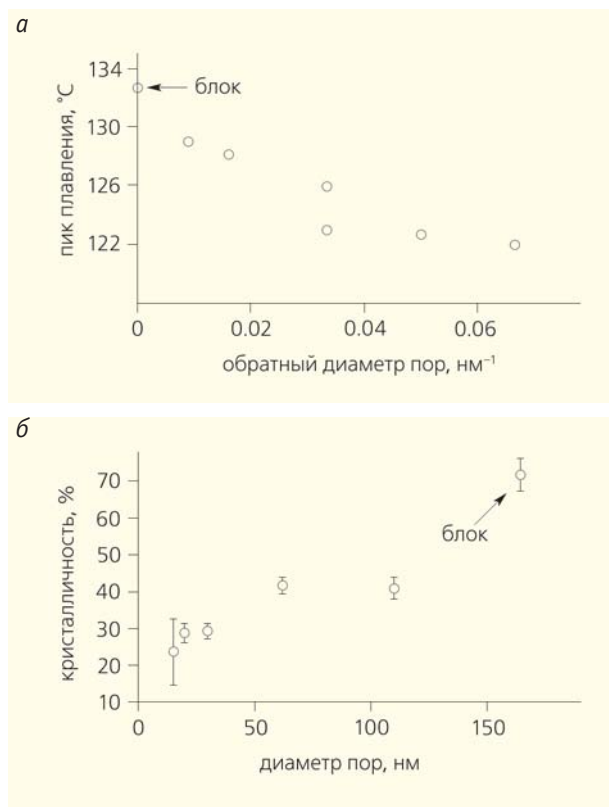


Рис.12. Зависимость температуры плавления линейного ПЭ (а) и его степени кристалличности (б) от диаметра пор в алюминиевом темплате, в котором проводят кристаллизацию и плавление [14].

Как следует из рис.11, именно гибкость макромолекул позволяет им двигаться таким образом и в результате проникать в столь узкие поры. Полимерный клубок, имеющий размеры значительно большие, чем диаметр пор, разматывается как клубок ниток, а затем «рептирует» в узкое пространство, как это показано на рисунке. Именно такое движение позволяет длинным цепным молекулам «заползать» в самые узкие щели и поры вне зависимости от молекулярной массы (длины цепочки) полимера. Правда, проникнув в столь узкое пространство, макромолекула немедленно утрачивает свое главное свойство — гибкость. Действительно, ей очень трудно изменять свою форму в столь стесненных условиях. Как следствие, полимер, сорбированный в столь малых объемах, полностью лишается способности как к стеклованию, так и к кристаллизации. Однако, если этот же полимер извлечь (экстрагировать растворителем) из узких каналов в цеолитах или слоевых наносиликатах, он полностью восстановит все свои полимерные свойства, в частности снова станет способным и к стеклованию, и к кристаллизации.

Итак, выше было показано, что процессы кристаллизации полимеров сильнее всего зависят от объемных пространственных ограничений, в которых осуществляется кристаллизация. Важно отметить, что такого рода кристаллизация кардинально влияет на структуру и свойства результирующего материала. В работе [14] использовали алюминиевые темплате для исследования влияния пространственных ограничений на структуру и свойства линейного ПЭ. Рис.12 демонстрирует влияние размера нанопор на температуру плавления (а) и степень кристалличности полимера (б). Хорошо видно, что объем ПЭ-фазы, в которой происходит его кристаллизация, в огромной степени сказывается как на температуре плавления полимера, так и на его степени кристалличности. В частности, уменьшение диаметра пор в темплате до 20 нм снижает степень кристалличности ПЭ от 70 до 30%.

Стремление ориентироваться

Мы видели, что полимер, измельченный до наноразмеров, демонстрирует особые теплофизические свойства. Не менее сильное воздействие нановolumные ограничения оказывают и на структуру кристаллизующегося полимера. Прежде чем мы рассмотрим этот аспект проблемы, необходимо напомнить некоторые важные структурные особенности кристаллизации полимеров.

Этот процесс, как правило, протекает с образованием уже упоминавшейся сферолитной структуры (рис.4). Поскольку полимер кристаллизуется из аморфного, неупорядоченного состояния (рис.1), не очень ясно, каким образом аморфное вещество, представляющее в структурном плане по сути вой-

лок (материал, состоящий из хаотически перепутанных волокон), может самопроизвольно превратиться в столь высокоорганизованную структуру. Действительно, трудно себе представить, как можно расплести систему взаимно перепутанных полимерных цепей для укладки их в совершенную кристаллическую решетку. Поскольку за разумное время распутать связанные между собой полимерные клубки практически невозможно, природа находит другой, альтернативный путь для упорядочения (кристаллизации) такой системы (рис.13). Здесь на помощь приходит все то же важнейшее свойство полимеров — гибкость их макромолекул.

Оказывается, для создания дальнего (кристаллического) порядка совершенно не обязательно распутывать все взаимопроникающие полимерные цепочки. Полимерные цепи благодаря их гибкости способны кристаллизоваться индивидуально, образуя складчатую структуру так, как это показано на рис.13. Именно таким образом возникают базовые элементы для создания самых разных кристаллических структур — ламели. Их строение схематически представлено на рис.14. Как следует из этого рисунка, кристаллизация полимера приводит к образованию ламелей толщиной порядка 10 нм, имеющих другие грани микрометровых размеров. Важно отметить еще одну особенность кристаллизации полимера. Возникающие кристаллические ламели находятся в окружении макромолекул, которые не смогли закристаллизоваться в столь сложных условиях. Другими словами, в закристаллизованном полимере всегда содержится аморфная часть (аморфные прослойки), в связи с чем одной из характеристик таких полимеров служит степень кристалличности (процентное содержание кристаллической фазы по отношению к общей массе полимера).

Именно кристаллические ламели становятся теми «кирпичиками», из которых строятся другие, более сложные кристаллические структуры полимера. Например, упомянутые выше, наиболее распространенные морфологические формы — сферолиты — возникают при кристаллизации полимера из некоего зародыша (рис.4). Поскольку ламели в структуре сферолита ориентированы во всех направлениях одинаково, в целом эта структура не имеет предпочтительной молекулярной ориентации.

Важный параметр, определяющий общую ориентацию полимера, — направление осей закристаллизованных макромолекул, собранных в складки (так называемая С-ось). Когда говорят об ориентированном кристаллическом полимере, имеют в виду, что С-оси макромолекул в кристаллитах (ламелях) ориентированы в каком-либо одном направлении. Структура ориентированного полимера (волокна) схематически представлена на рис.15.

Высокие механические показатели полимерных волокон связаны с ориентацией кристаллитов таким образом, что С-оси макромолекул оказыва-



Рис.13. Схема кристаллизации полимера путем складывания индивидуальных цепей.

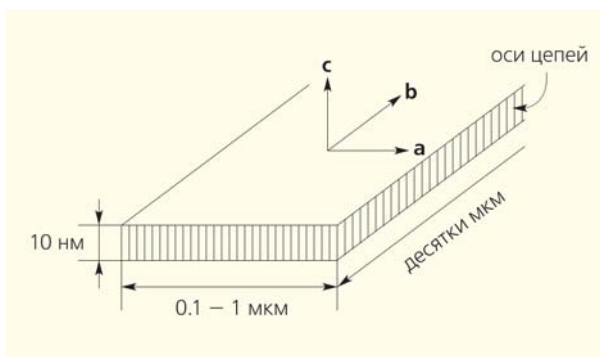


Рис.14. Схема строения кристаллической ламели в кристаллизующемся полимере, ее примерные размеры и ориентация полимерных сложенных цепей по отношению к плоскости ламели.

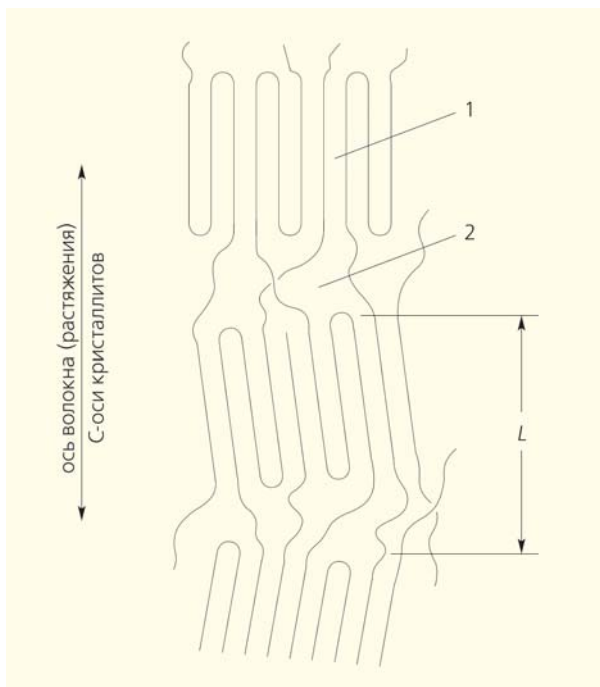


Рис.15. Схема строения ориентированного кристаллического полимера: 1 — складчатый кристаллит; 2 — аморфная область; L — большой период.

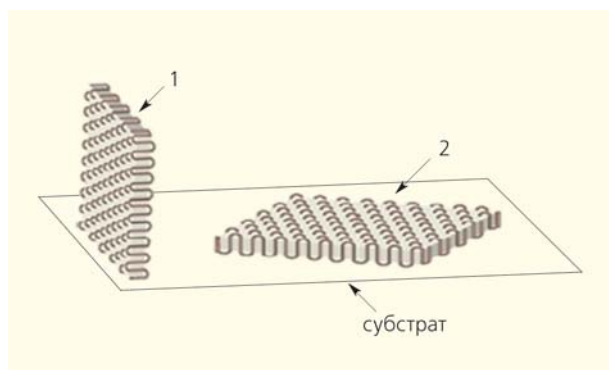


Рис.16. Схематическое изображение кристаллических полимерных ламелей, построенных путем складывания макромолекул: два варианта ориентации ламели по отношению к субстрату — торцевая (1) и плоскостная (2).

ются ориентированными вдоль оси волокна. Ориентированный полимер характеризуется большим периодом (L), величину которого задает длина кристаллита в направлении C -оси макромолекул плюс размер аморфной прослойки, разделяющей соседние кристаллиты.

Теперь рассмотрим, каким образом наноразмерные объемные ограничения могут повлиять на структуру кристаллизующегося полимера. Кристаллизация при нанообъемных ограничениях осуществляется практически всегда при контакте расплава полимера с ограничивающей поверхностью. При этом образующиеся при кристаллизации ламели могут ориентироваться относительно этих поверхностей по крайней мере двумя способами (рис.16).

Как следует из рис.16, ориентация ламели по отношению к поверхности может быть плоскостной, когда C -оси макромолекул ориентированы перпендикулярно поверхности субстрата (в англо-

язычной литературе такая ориентация обозначается как flat on), и торцевой — с осями вдоль плоскости субстрата (edge on). Конечно, энергетически выгоднее ориентация flat on, так как при этом кристаллическая ламель организует значительно большее число контактов с поверхностью субстрата.

Ориентация ламелей (а значит и цепей макромолекул) определяется влиянием ограничений на условия зарождения и роста кристаллов. Ярким примером ограничений, накладываемых на рост кристаллов, служит кристаллизация полимеров в цилиндрических нанопорах (рис.17). Как было отмечено выше, ламели энергетически выгодно «прилипнуть» к стенке поры широкой гранью, на которой выступают складки сложенных макромолекул. В этом случае преимущественный рост кристаллов происходит вдоль оси капилляра, и следовательно, C -оси макромолекул оказываются выстроенными нормально оси нанопоры (рис.17). Обычно именно таким образом ориентируются кристаллические ламели полимеров и в наноразмерных темплатах.

Однако это не единственный путь, по которому может идти ориентация кристаллических ламелей полимера в нанопоре. Существует как минимум еще один фактор, который способен повлиять на ориентацию кристаллитов в ограниченном пространстве. Речь идет о взаимодействии кристаллизующегося полимера со стенкой поры.

На межфазной границе, в частности на стенке цилиндрической поры, может происходить интенсивное зарождение кристаллов. В этом случае на поверхности образуется большое число зародышей, вследствие чего зародившиеся кристаллы не могут эффективно расти вдоль стенки нанопор так, как это представлено на рис.17 (слева). При большом количестве зародышей, возникающих на субстрате, их рост вдоль его стенок резко затрудняется (рис.18). Зародившиеся кристаллы наталки-

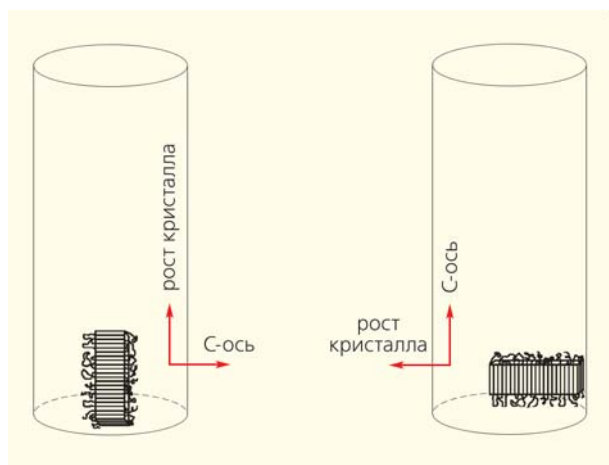


Рис.17. Возможные направления роста кристаллитов и ориентации C -осей в них в наноразмерных цилиндрических порах (показаны красными стрелками).

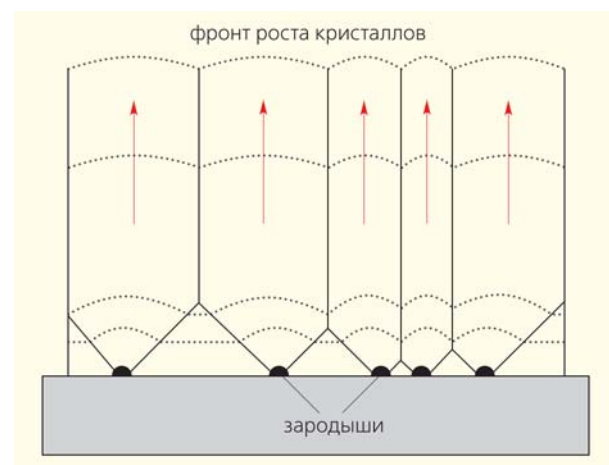


Рис.18. Схема зарождения и роста кристаллов полимера при активном зародышеобразовании на межфазной границе. Стрелками показано направление роста кристаллов [15].

ваются на соседние зародыши, и им ничего не остается, как расти в глубь нанопоры в направлении, нормальном оси нанопоры, — это показано стрелками на рис. 17 (справа). Рост кристаллов в направлении, перпендикулярном межфазной поверхности, очевидно, будет приводить к ориентации *S*-осей цепей в направлении большой оси цилиндрической нанопоры. Другими словами, ориентация кристаллов полимера, растущего в цилиндрической нанопоре, может происходить как параллельно, так и нормально направлению оси нанопор.

* * *

Таким образом, объем полимера в нанометровом диапазоне решающим образом влияет на его структуру и свойства. При уменьшении объема полимерной фазы, начиная примерно с линейного размера в 50 нм, резко изменяются базовые фундаментальные свойства полимеров. Температура стеклования может понижаться на десятки и даже сотни градусов, резко падают температуры и теплоты кристаллизации поли-

меров. Наблюдается сильное (на десятки градусов) снижение теплоты плавления, резко (в несколько раз) уменьшается степень кристалличности полимеров. Структурные данные свидетельствуют о сильном влиянии взаимодействия с субстратом полимера в процессе его кристаллизации, что приводит к существенным изменениям в ориентации кристаллитов в том случае, если нанограничения оказываются различными в разных направлениях.

Полученные данные имеют большое значение для изготовления таких миниатюрных объектов, как наностержни и нанопроволоки, которые необходимы для разработки и создания современных устройств, используемых для решения важных прикладных проблем в микроэлектронике и биомедицине. Указанные объемные эффекты необходимо учитывать и при создании наноструктурированных пленок для солнечных батарей, полимерных мембран энергетических сепараторов, а также для адресной доставки лекарств и во многих других областях. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 14-03-00617-а и 15-03-03430-а) и гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущей научной школы НШ-1683.2014.3.

Литература

1. Ю-Винг М., Жонг-Жен Ю. Полимерные нанокомпозиты. Серия: Мир материалов и технологий. М., 2011.
2. Вольнский А.Л. Нанокомпозит с полимерной матрицей // Наука в России. 2009. №4. С.4—7.
3. Forrest J.A., Dalnoki-Veress K. The glass transition in thin polymer films // Adv. Colloid and Interface Sci. 2001. V.94. P.167—195.
4. Lee E., Hong J.-Y., Ungarb G., Jang J. Crystallization of poly(ethylene oxide) embedded with surface-modified SiO₂ nanoparticles // Polym. Int. 2013. V.62. P.1112—1122.
5. Каргин В.А., Слонимский Г.Л. Краткие очерки по физикохимии полимеров. М., 1967.
6. Castillo R.V., Arnal M.L., Müller A.J. et al. Fractionated crystallization and fractionated melting of confined PEO microdomains in PB-b-PEO and PE-b-PEO diblock copolymers // Macromolecules. 2008. V.41. P.879—889.
7. Carr J.M., Langbe D.S., Ponting M.T. et al. Confined crystallization in polymer nanolayered films: A review // J. Mater. Res. 2012. V.27. P.1326—1350.
8. Liu R.Y.F., Bernal-Lara T.E., Hiltner A., Baer E. Interphase materials by forced assembly of glassy polymers // Macromolecules. 2004. V.37. №18. P.6972—6979.
9. Mitchell R.M., Blaszczyk-Lezak I., Mijangos C., Muller A.J. Confinement effects on polymer crystallization: from droplets to alumina nanopores // Polymer. 2013. V.54. №16. P.4059—4077.
10. Wu H., Wang W., Yang H., Su Z. Crystallization and orientation of syndiotactic polystyrene in nanorods // Macromolecules. 2007. V.40. P.4244—4249.
11. Steinbart M., Senz S., Ralf B., Webrspohn R.B. et al. Curvature-directed crystallization of poly(vinylidene difluoride) in nanotube walls // Macromolecules. 2003. V.36. P.3646—3651.
12. Duran H., Steinbart M., Butt H.-J., Floudas G. From heterogeneous to homogeneous nucleation of isotactic poly(propylene) confined to nanoporous alumina // Nano Lett. 2011. V.11. P.1671—1675.
13. De Gennes P.-G. Scaling Concepts in Polymer Physics. Ithaca; N.Y., 1979.
14. Shin K., Woo E., Jeong Y.G., Chulkyu Kim et al. Crystalline structures, melting, and crystallization of linear polyethylene in cylindrical nanopores // Macromolecules. 2007. V.40. P.6617—6623.
15. Li H., Yan S. Surface-induced polymer crystallization and the resultant structures and morphologies // Macromolecules. 2011. V.44. P.417—428.

Стратегии эволюционного успеха насекомых

А.П.Расницын

Как хорошо известно, класс насекомых (Insecta) — самая успешная группа живых организмов, у которых нет конкурентов, по крайней мере, в отношении таксономического разнообразия. По последним данным, насекомых более миллиона (1 070 781) видов, что составляет около четырех пятых от всех членистоногих (1 302 809), или арthropод (Arthropoda), и две трети от общего числа видов царства животных (1 659 420) [1–3]*. Однако причины тому вовсе не очевидны и заслуживают обсуждения.

Сразу оговорюсь, что выдающегося разнообразия «добились» не все насекомые, а только крылатые. Их действительно большинство, а вот первичнобескрылых всего чуть более тысячи видов (574 — щетинохвосток, Zygentoma, и 514 — древнечелюстных, или Archaeognatha). Эта весьма скромная группа уступает в разнообразии наземным членистоногим из другого класса — ракообразных (Crustacea) и даже одному из его подотрядов — мокрицам (Oniscidea), которых около 4000 видов (рис.1). Можно с уверенностью сказать, что главной предпосылкой успеха насекомых было обретение способности к полету. Но лишь предпосылкой, по-

* Если не оговорено особо, здесь и далее все численные данные взяты из указанных публикаций.



Александр Павлович Расницын, доктор биологических наук, заведующий лабораторией арthropод Палеонтологического института им.А.А.Борисяка РАН. Заслуженный деятель науки РФ (2001), кавалер Ордена Дружбы (2012), лауреат премии имени Ханса Раусинга (2003 и 2009). Область научных интересов — палеоэнтомология (в особенности перепончатокрылых), теория эволюции, методология филогенетики, систематики и таксономической номенклатуры.

скольку появление крыльев и умение летать не только открыло насекомым широчайшие возможности прогресса, но и создало проблемы. Но об этом чуть позже.

Для начала кратко напомним, на протяжении жизни насекомые проходят несколько стадий развития, что сопровождается глубокой внутренней и внешней перестройкой организма — метаморфозом. В зависимости от числа стадий он может быть двух типов: геми- и голометаморфоз (от греч. ημι — полу-, ολος — целый, полный и μορφοσις — превращение). Крылатые насекомые с неполным превращением (Hemimetabola) проходят три стадии (яйцо, личинка и взрослая особь), а с полным (Holometabola) — на одну больше (добавляется стадия куколки). У Hemimetabola личинки (нимфы) похожи на взрослых (имаго) не только по облику, но и по образу жизни. У Holometabola все не так — их личинки и куколки, как правило, сильно отличаются от имаго и морфологически, и биологически.

Среди крылатых насекомых наибольшего разнообразия достигли четыре отряда с полным превращением: 392 415 вида у жесткокрылых, или жуков (Coleoptera), 158 570 — у чешуекрылых, или бабочек (Lepidoptera), 160 591 — у двукрылых (Diptera), 155 517 — у перепончатокрылых (Hymenoptera). Приближаются к этим «рекордсменам» два отряда насекомых с неполным превращением: полужесткокрылые (Hemiptera) с 104 165 видами и прямокрылые (Orthoptera) с 24 481 видами (рис.2).



Рис.1. Мокрица-броненосец обыкновенная (слева) и щетинохвостка махилис (flickr.com).

Такое расширение видового богатства заставляет обратить особое внимание на важность преобразований в индивидуальном развитии (онтогенезе) насекомых и роль таких изменений в достижении эволюционного успеха. Дело в том, что упомянутые проблемы адаптации, возникшие с приобретением крыльев, в первую очередь касаются именно онтогенеза, точнее, только той его

стадии, когда собственно появляются крылья и возможность летать. В остальном же (по организации и адаптации постэмбриональных стадий) предки крылатых насекомых должны были быть весьма похожи, но при этом крылатые и бескрылые (точнее, летающие и нелетающие) стадии были вынуждены жить в существенно разных условиях, что не могло не отразиться на их приспособ-

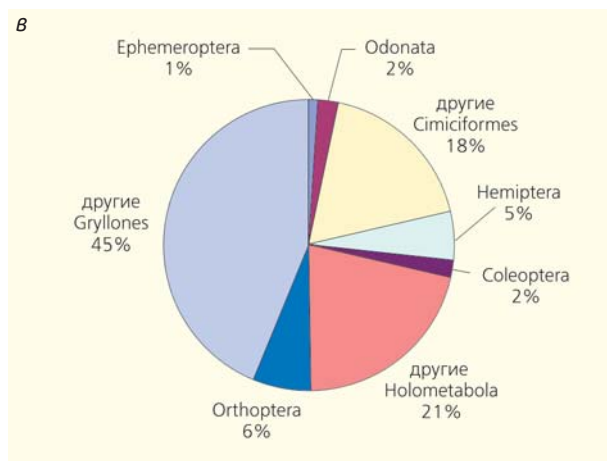
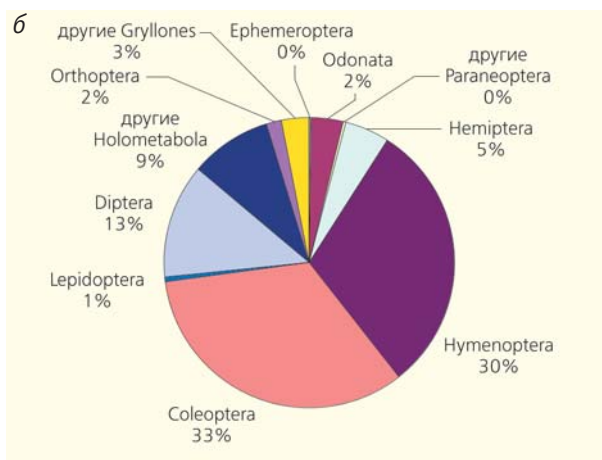
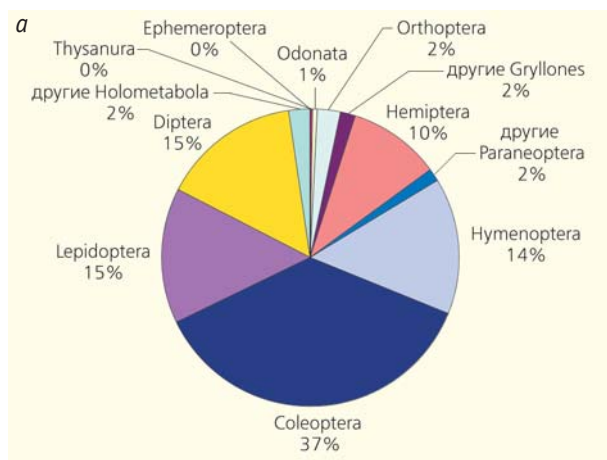


Рис.2. В современной фауне (а; в диаграмме использованы данные из постоянно обновляемого международного научного журнала по зоологии «Zootaxa» [1—3]) очевидно подавляющее разнообразие Holometabola — насекомых с полным превращением (Hymenoptera — перепончатокрылые, Coleoptera — жуки, Lepidoptera — бабочки, Diptera — двукрылые, т.е. комары и мухи), но так было не всегда. В мезозое (б; данные по знаменитому верхнеюрскому местонахождению Каратау в Казахстане, около 160 млн лет [4]) это доминирование кажется еще большим, но не надо обманываться: в захоронение чаще попадают хорошо летающие насекомые, а среди них особенно много с полным превращением. А в палеозое (в; цифры по не менее знаменитой нижнепермской Чекарде на Урале, около 175 млн лет [5]) их было меньше четверти даже несмотря на это преимущество.



Рис.3. Микрофотография нимф одного из представителей отряда сенокосов, малозаметных насекомых с неполным превращением (сеноеды включены в Paraneoptera на рис.2, а, б и в Cimiciformes рис.2, в) [8].

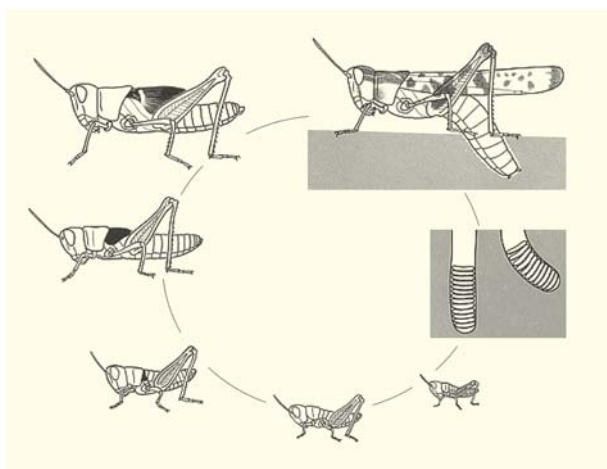


Рис. 4. Схема развития саранчи (яйца, нимфы и взрослая самка за откладкой яиц).

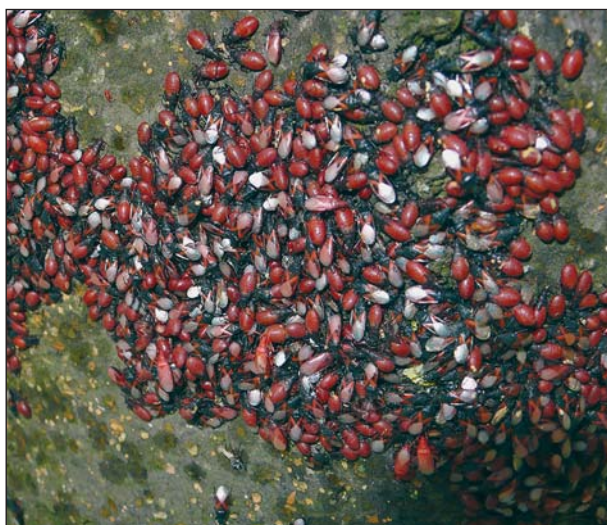


Рис.5. Зимовочное скопление клопа *Oxycarenus lavaterae* на дереве.

Фото П.Вршанского (Peter Vršanský)

собственности. И действительно, вся дальнейшая эволюция насекомых была направлена на преодоление этого противоречия, которое осуществлялось самыми разными способами и, естественно, с разной эффективностью [6, 7].

Мыслимы, по крайней мере, три пути преодоления описанного противоречия: сглаживание различий между летающими и нелетающими стадиями с помощью уподобления либо бескрылым крылатым, либо наоборот, а также развитие у них независимых адаптаций — у каждой к собственным обстоятельствам. Эти три направления не взаимоисключающие, но все же они достаточно хорошо различимы. Уподобление бескрылых стадий крылатым (рис.3) легко осуществимо путем удлинения эмбрионального развития (эмбрионизации), когда все большая часть онтогенеза оказывается спрятанной в яйцо [9]. Но эмбрионизация всегда ограничена, ведь бескрылые в любом случае не могут летать. Не все адаптивные функции полета необходимы для неполовозрелых стадий развития, но функция избегания опасности высокоактуальна, поэтому неудивительно, что пошедшие по этому пути насекомые (цикадовые и прямокрылые) обзавелись альтернативным механизмом — прыжком, равно доступным для крылатых и бескрылых (рис.4). У клопов, потомков цикадовых, прыжок в этой функции был заменен пахучими железами (рис.5). Многие другие насекомые, пошедшие по пути эмбрионизации (тараканы, термиты, уховертки, эмбии, сеноеды и др.), преодолевали то же противоречие уходом в укрытия, где полет вообще неважен, а если и используется, то преимущественно или даже исключительно в связи с размножением и расселением (рис.6).

Альтернативный путь сближения адаптивных свойств ранних и поздних стадий развития путем



Рис.6. Метаморфоз американского таракана *Periplaneta americana*.

<http://narragansettpestcontrol.com>



Рис.7. Некоторые из крылатых насекомых, потерявших крылья (flickr.com): сверху слева направо — один из группы оранжевых кузнечиков и ледничник (родственник скорпионницы), внизу — светлячок и эмбия.

отказа от полета или сокращения его адаптивной роли полета реализовывался многократно и на самой разнообразной основе. Утрата полета (рис.7) — явление в общем-то обычное в большинстве групп насекомых (кажется, кроме тех, которые развиваются в воде), но, очевидно, не слишком перспективное: оно никогда не ведет к большому таксономическому разнообразию. Менее радикальное сведение функций полета только к обеспечению репродукции и расселения, нередко сопровождающееся кратковременностью (эфемерностью) крылатой стадии (рис.8), распространено очень широко и возникает на самой разной основе. Некоторые примеры я уже приводил (насекомые, пошедшие по пути эмбрионизации, пожалуй, кро-



Рис.8. Поденка — век короткий.

Фото П. Вршанского



Рис.9. Личинка и взрослый муравьиный лев (flickr.com) — страшный подземный хищник и безобидное (с виду) воздушное создание, тоже небезопасное для всякой мелочи вроде тли.

ме тараканов), о других примерах речь впереди. Но сначала обратимся к третьей, самой характерной стратегии эволюционного успеха крылатых насекомых.

Независимая адаптация и, соответственно, дивергенция ранних и поздних стадий развития, казалось бы, решает наилучшим образом проблему приспособления адаптивно различных крылатых и бескрылых организмов (рис.9). Однако она порождает и серьезную проблему, не имеющую простого решения. Специализированная бескрылая форма должна быть превращена в иначе специализированную крылатую, что требует решения сложных морфогенетических задач, отнимает много времени и энергии. Фактически в течение одного онтогенеза строятся два совсем разных организма

(рис.10), что равноценно сложному жизненному циклу с чередованием поколений, одно из которых не размножается (дает только одного потомка на родительскую особь). При этом куколка насекомых с полным превращением, очевидно, выполняет функцию яйца. По пути двойных морфогенетических затрат пошли отнюдь не только Holometabola, но и другие группы насекомых, особенно развивающиеся в воде (стрекозы, поденки, веснянки), и для них проблема затрат на превращение нимфы в имаго тоже вполне актуальна.

Как это ни удивительно, совершенно не экономичная стратегия морфоэкологической дивергенции оказалась у насекомых самой выигрышной, а в некоторых случаях (у бабочек и двукрылых) протекает даже без значительного упрощения или эфемеризации личинки и/или имаго (если, конечно, не считать упрощенной специализированную личинку высших двукрылых). Для двукрылых дополнительной причиной гигантского эволюционного успеха, перевесившей затратность их онтогенеза, очевидно оказалось фантастическое совершенство полета (рис.11), по крайней мере отчасти связанное с предельной олигомеризацией его механики (морфологически двукрылый полет с соответствующим преобразованием скелета и мускулатуры груди) и приобретением жужжалец — совершенного стабилизатора полета (см. рис.11, справа).

Причины эволюционного успеха бабочек менее понятны. Несомненно, что здесь велика роль чешуйчатого покрова, его терморегуляторная функция, об-

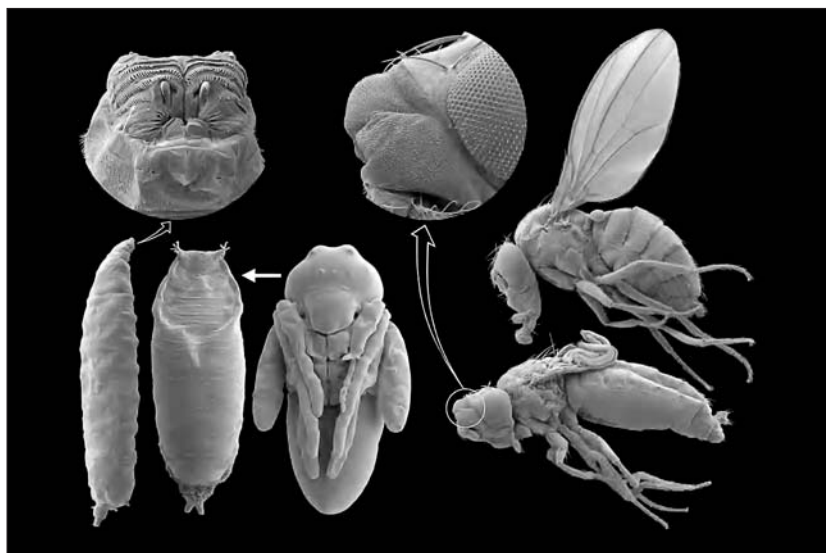


Рис. 10. Стадии развития плодовой мушки-дрозофилы: внизу справа налево: личинка, пупарий (затвердевшая шкурка личинки, скрывающая куколку), куколка и новорожденная муха; вверху: голова личинки, часть головы новорожденной мухи с пузырьком, помогающим ей выйти из субстрата наружу, и взрослая муха [8].

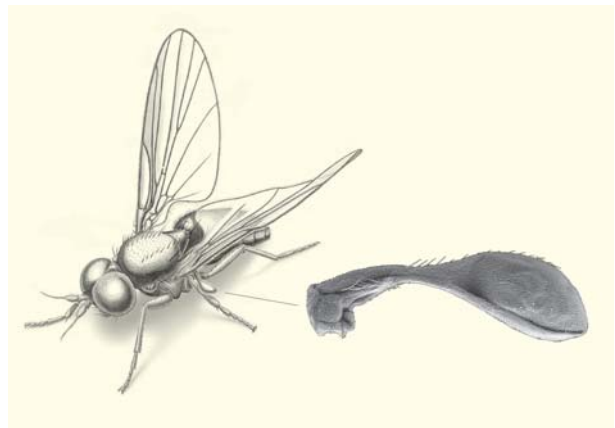


Рис.11. Журчалка неподвижно висит в воздухе (flickr.com). Справа — рисунок мухи и микрофотография ее жужжальца [6]. Пара этих органов стабилизирует полет, вибрируя с той же частотой, что и крылья, но в противофазе с ними.

легчающая быстрый разогрев и взлет насекомого в случае опасности, а также его автотомический эффект, позволяющий спастись от хищников и разного рода ловушек (паутины, мокрых и липких поверхностей) ценой потери некоторого числа чешуек. Очевидная роль чешуйчатого покрова в не имеющем параллелей разнообразия и изощренности окраски бабочек также усиливает их приспособленность. Однако пока все-таки не очевидно, что этих факторов было достаточно для эволюционного успеха чешуекрылых.

В отличие от бабочек и двукрылых, эволюционный успех перепончатокрылых и жуков невозможно понять, не обращаясь к вопросу рациона-

лизации их онтогенеза. Наиболее понятно с перепончатокрылыми, которые пошли по пути глубокого упрощения личиночной стадии развития и соответствующего уменьшения объема куколочного морфогенеза. Личинки низших пилильщиков (*Xyelidae*, *Tenthredinoidea*) по уровню организации вполне соответствуют гусеницам бабочек, но уже скрытоживущие (эндофитные) личинки рогахвостов значительно упрощены. У высших перепончатокрылых (наездников, ос, пчел и муравьев) личинки скорее соответствуют средним стадиям эмбриогенеза бабочек, при этом в некоторых случаях личинки даже совмещают интенсивный морфогенез с активным питанием [6]. Начиная

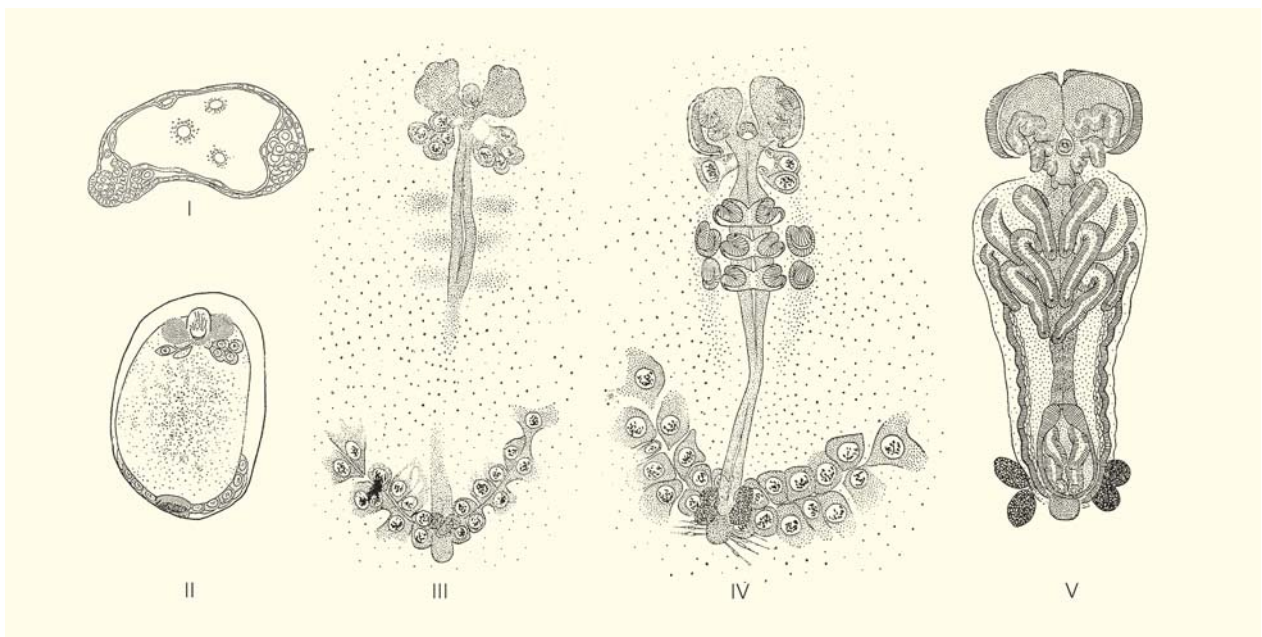


Рис.12. У крохотного водяного наездника прествичии, паразита в яйце жука-плавунца, развитие снова стало прямым: фактически эмбрион, минуя личинку, прямо превращается в куколку. «Личинка» питается и растет на стадиях II—IV, на стадии V это уже почти куколка [10].

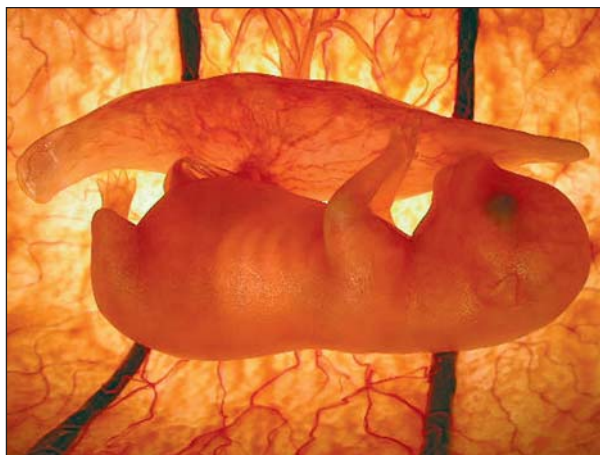


Рис.13. Личинка наездника (www.flickr.com), которая высасывает живого паука, и эмбрион собаки (кадр из фильма «Extraordinary Animals in the Womb» производства «National Geographic»).

с выхода из яйца, развитие идет непрерывно, без линек, и эмбрион превращается в куколку (рис.12). Глубокая рационализация развития высших перепончатокрылых (его выпрямление с сокращением необходимого объема морфогенетических преобразований) оказалась возможной благодаря совершенствованию поведения взрослых особей, овладевших надежными способами обеспечения потомства пищей и защитой. По существу эволюционный успех перепончатокрылых достигнут на том же пути, что у млекопитающих и птиц. Особенно наглядна параллель между паразитизмом эмбриона млекопитающего на матери и паразитизмом личинки наездника на добыче, приготовленной для него его матерью (рис.13).

Иная ситуация сложилась у самой успешной по числу видов группы живых организмов — жуков. Среди них тоже есть такие, которые пошли по пути глубокой рационализации развития в условиях изощренной заботы о потомстве и также добились в этом взрывного успеха. Прежде всего к ним относятся долгоносики и их сородичи — самая богатая видами группа жуков. Но все-таки для жу-

ков это частный случай. Их магистральный путь — сближение образа жизни и в разной степени строения личинок и имаго в условиях адаптации к более или менее скрытому образу жизни. Это достигается, как правило, превращением передних крыльев в жесткие надкрылья, защищающие крылья при перемещении в скважинах субстрата. Полет при этом обычно сохраняется и иногда (например у златок) даже оказывается быстрым, но практически никогда не бывает маневренным, как у перепончатокрылых и бабочек, а тем более — как у двукрылых. Большинство жуков летают медленно, словно на пределе своих возможностей (я бы сказал — на постоянном форсаже), а некоторые и вовсе обходятся без полетов. Но это не помешало жукам стать самой богатой видами группой живых организмов. Вероятно, сохранение хотя бы такого полета в сочетании с мощной пассивной защитой (очень жесткими покровами) и способностью быть активными одновременно и в открытом пространстве, и в толще субстрата перевесили все негативные аспекты их строения и развития. ■

Литература

1. Zhang Z.-Q. Animal biodiversity: An introduction to higher-level classification and taxonomic richness // Zootaxa. 2011. V.3148. P.7—12.
2. Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013) / Ed. Z.-Q.Zhang // Zootaxa. 2013. V.3703. №1. doi:10.11646/zootaxa.3703.1.1
3. Aguiar A.P., Deans A.R., Engel M.S. et al. Order Hymenoptera // Zootaxa. 2013. №3703. P.51—62.
4. EDNA, 2014. TheEDNA fossil insect database: <http://edna.palass-hosting.org/search.php> (accessed Dec. 2014).
5. Аристов Д.С. Тип Arthropoda / Жужгова Л.В., Пономарева Г.Ю., Аристов Д.С, Наугольных С.В. Разрез Чекарда — местонахождение пермских ископаемых насекомых и растений // Пермь, 2015.
6. Расницын А.П. Некоторые аспекты взаимоотношений морфогенеза и роста в эволюции онтогенеза насекомых // Энтотомол. обозр. 1959. Т.38. №3. С.548—553.
7. Тихомирова А.Л. Перестройка онтогенеза как механизм эволюции насекомых. М., 1991.
8. Grimaldi D., Engel M.S. Evolution of the insects. Cambridge, 2005.
9. Захваткин А.А. К вопросу о происхождении личинок Holometabola / Сб. научных работ. М., 1953. С.195—203.
10. Иванова-Казас О.М. Очерки по сравнительной эмбриологии перепончатокрылых. М., 1961.

Геологический феномен ураново–редкометалльных месторождений

А.А.Шарков

Уникальные стратиформные ураново-редкометалльные месторождения были открыты в середине XX в. на Мангышлаке в Казахстане и в Ергенинском р-не Калмыкии сотрудниками Всесоюзного института минерального сырья и геологами Кольцовской экспедиции. Эти экзотические месторождения, названные органо-генно-фосфатными, и по сей день остаются геологическим феноменом, известным исключительно в одной формации Земли — майкопской, олигоцен-раннемиоценового возраста. Они представляют особый тип ураново-редкометалльных образований, связанных с фоссилизованными костными остатками ихтиофауны, которая существовала 30 млн лет назад только в пределах Восточного Паратетиса [1].

На страницах «Природы»* я уже рассказывал о месторождениях Мангышлака, сейчас хочу напомнить читателю о некоторых особенностях их размещения, строения, состава и условия формирования.

В 1960 г., после завершения разведки наиболее крупного месторождения Мелового, Кольцовская экспедиция передала этот объект в Производственный горно-металлургический



Анатолий Антонович Шарков, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им.Н.М.Федоровского. Область научных интересов — оценка и прогнозирование месторождений урана и других полезных ископаемых. Старинный автор «Природы».

комбинат Министерства среднего машиностроения, который и приступил к его промышленной эксплуатации.

Мне представилась возможность заниматься детальным изучением рудной залежи непосредственно в забоях карьеров на протяжении 10 лет — с 1960 по 1969 г. За это время, несмотря на очень трудные климатические условия, в юго-восточной части месторождения было обнаружено уникальное древнее захоронение ураноносных костных остатков ихтиофауны, в основании которого залежали фрагменты скелетных частей древних китов и зубы акул.

Наиболее сложная по строению ураноносная рыбная подсвета была мной расчленена по региональному внутрiformационному перерыву в осадконакоплении, фиксируемому сульфидным прослоем, на два стратиграфических горизонта: подрудный жазгурлинский (0—160 м) и рудный сегендыкский (0—230 м) [2].

Рудный горизонт подразделяется на три пачки: нижнюю рыбную (собственно рудную), среднюю водорослевидную и верхнюю рыбную. Главная особенность нижней пачки — размещение в ней всех известных на Мангышлаке рудных залежей, приуроченных к единому горизонту (рис.1). Наряду с этим в многочисленных (более чем 100) скважинах на четырех стратиграфических уровнях были зафиксированы туффитовые прослои (0.1—0.15 м). Впоследствии оказалось, что они тяготеют к долгоживущему глубинному разлому типа грабена [3], который существовал в осевой части Карагиинского сводового поднятия.

* Шарков А.А. Уникальные месторождения урана // Природа. 2002. №3. С.3—12.

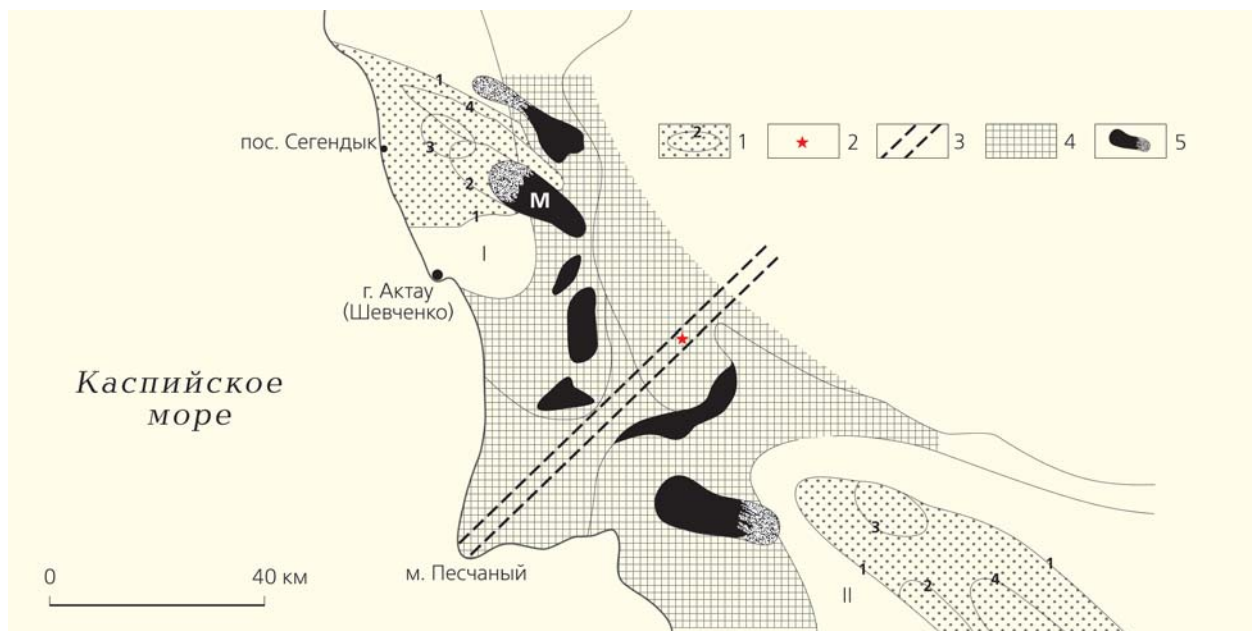


Рис.1. Схема расположения рудных залежей и распространения вулканогенного материала в нижней рыбной пачке Мангышлака: 1 — прослой туффитов; 2 — местонахождение вулканического аппарата; 3 — зона глубинного разлома; 4 — область Карагинского сводового поднятия; 5 — расположение рудных залежей на крыльях сводового поднятия. Римскими цифрами показаны синклинали: I — Сегендыкская, II — Жазгурлинская. М — месторождение Меловое.

Чрезвычайно важная особенность этих характерных вулканических образований — их залегание в вертикальных разрезах нижней рудной пачки. Вблизи от приразломной зоны они обычно максимально сближались и занимали синхронное положение с компактными пластами

рудной залежи месторождения Мелового [1]. По мере удаления в северо-западном и юго-восточном направлениях от приразломной зоны прослой туффитов постепенно расходились и занимали более высокое положение в вертикальных разрезах нижней рудной пачки в Сегендыкской и Жазгурлинской синклиналях. Это обстоятельство может свидетельствовать о том, что источником пеплового материала был подводный вулканический аппарат, находившийся в приразломной зоне Карагинского сводового поднятия (рис.2).

В период формирования рудных пластов при четырехкратных подводных извержениях пепел вырывался в атмосферу и разносился на большие расстояния, а затем осаждался на дне морского бассейна.

В палеогеографическом отношении Карагинское сводовое поднятие представляло собой обширную подводную отмель, находившуюся во внешней зоне шельфа и периодически выходившую на поверхность, образуя островной архипелаг с многолетней древесной растительностью.

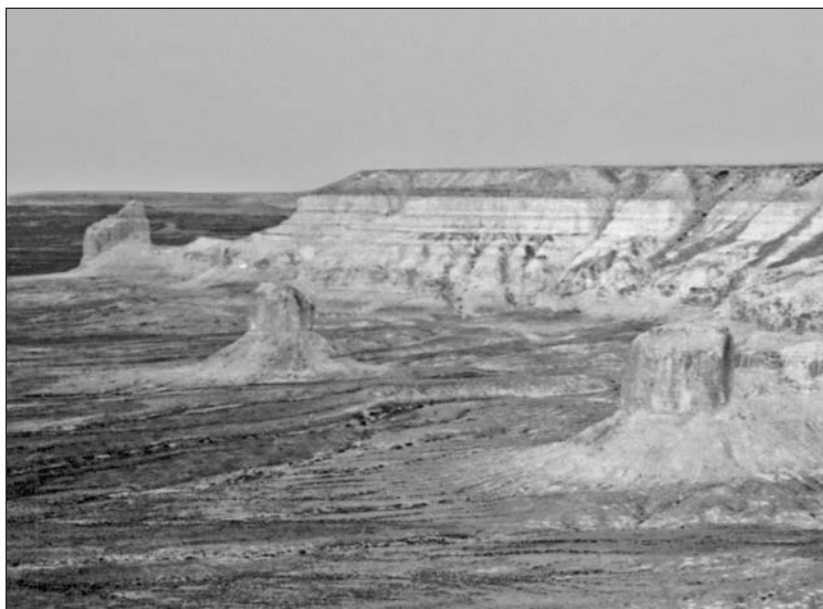


Рис.2. Подводный вулканический аппарат с четырьмя очагами в приразломной зоне Карагинского поднятия. Вид с южного борта впадины Карагие, 1958 г.

Фото автора

Месторождение Меловое

Самое крупное месторождение Мангышлака — Меловое — занимает обширную площадь (90 км²) в западной части впадины Карагие. Его рудная залежь протягивается в северо-западном направлении на 16–18 км, а ширина изменяется от 1.5 км на юго-востоке до 6–7 км на северо-западе (рис.3). Она располагается практически горизонтально, с пологим (0.5°) падением на северо-запад. В юго-восточной части пластовые скопления костного детрита образуют компактное тело (0.5–0.7 м) и выходят на поверхность в западном борту впадины Карагие. К западу и северо-западу они постепенно расслаиваются и погружаются на глубину 180–200 м, достигая мощности 8–10 м.

Запасы месторождения оценивались в 44 тыс. т урана [4], а количество костного детрита в рудной залежи составляло несколько десятков миллионов тонн. Здесь четко выделяется четыре пласта, различающихся между собой возрастом, строением, составом, распределением костного детрита и содержанием полезных компонентов. В приподнятой юго-восточной части рудного поля они обладают минимальной мощностью, что объясняется значительным их размывом. Пласты сложены тонкослоистой глинистой породой темного цвета (46–52%), костным детритом рыб (20–30%) и тонкодисперсным «сажистым» пиритом (35–50%). Наиболее характерная особенность рудной залежи — разный состав двух нижних и верхних пластов.

Первый нижний пласт представлен исключительно крупнообломочной породой черного цвета, получившей наименование «костная брекчия». Она пропитана баритом и целестином, вследствие чего приобрела массивный облик и резко отличается от тонкослоистой рудной массы.

Костная брекчия сложена несортированным органоматериалом, в котором присутствуют крупные кости и позвонки рыб и акул (до 10–12 см), слуховые кости китов (до 5 см), многочисленные зубы акул (1–5 см) и фрагменты скелетных частей древних китов (рис.4), а также челюсти зубатых китов и даже их головы. Кроме того, здесь часто присутствуют обломки углефицированной древесины (размером 20–30 см), значительно реже — окатанные гальки фосфоритов (1–4 см) и в отдельных случа-

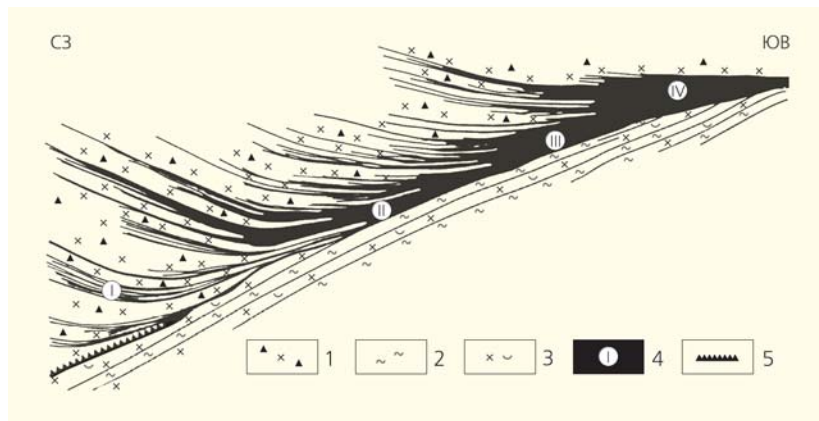


Рис.3. Строение рудной залежи месторождения Мелового. Глины: 1 — темно-бурые, обогащенные остатками рыб и тонкодисперсным пиритом, 2 — светло-серые с ходами, 3 — серые с редкими остатками рыб и пятнообразными выделениями пирита; 4 — рудные пласты; 5 — сульфидный прослой.



Рис.4. Фрагменты скелетных частей древних китов.

ях — кости птиц. В крупных обломках костей фиксируется повышенное содержание урана и редкоземельных элементов (табл.).

К северу и западу, в сторону погружения палеорельефа дна бассейна, мощность и характер отло-

Таблица

Содержание урана и редкоземельных элементов в крупнообломочном органоматериале рудной залежи месторождения Мелового

Крупнообломочный органоматериал	Содержание, %		Коэффициент обогатимости	
	U	TR	U/P ₂ O ₅	TR/P ₂ O ₅
Ребро кита	0.050	0.25	0.006	0.020
Позвонок кита	0.040	0.36	0.004	0.019
Слуховая кость кита	0.040	0.11	0.002	0.03
Зубы акул	0.022	0.17	0.006	0.04
Галька фосфорита	0.030	0.45	0.001	0.015
Кости птиц	0.020	0.15	0.003	0.043
Среднее	0.035	0.25	0.0028	0.033

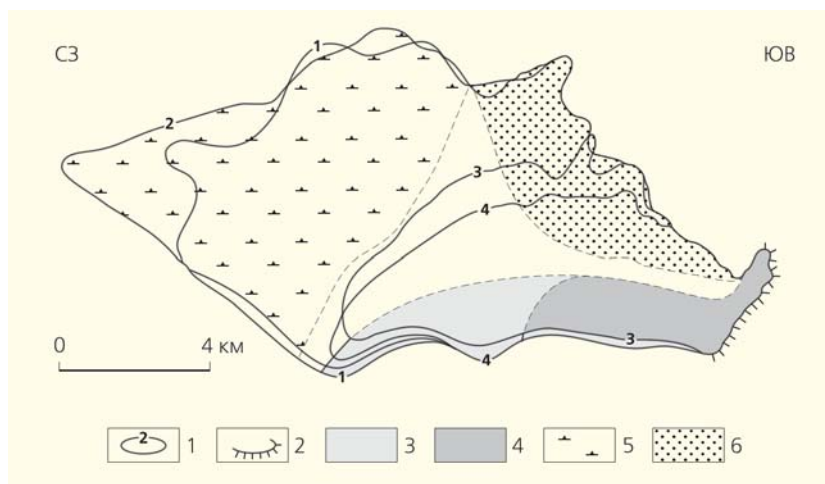


Рис.5. Схема размещения рудных пластов, костной брекчии и сульфидного прослоя на рудном поле месторождения Мелового: 1 — контуры распространения рудных пластов; 2 — линия выхода рудной залежи на поверхность во впадине Карагие; 3—6 — зоны распространения: 3 — костной брекчии первого рудного пласта; 4 — костной брекчии второго рудного пласта; 5 — сульфидного прослоя; 6 — тонкоизмельченного костного детрита.

жений первого рудного пласта существенно изменяются. В западном направлении костная брекчия прослеживается на протяжении 10 км (рис.5), затем она постепенно замещается сравнительно мелким костным детритом, а в наиболее погруженной части поля — тонкослойистой рудной породой, менее насыщенной остатками рыб и тонкодисперсным пиритом. На западе мощность первого рудного пласта за счет расслоения глинами возрастает до 1.5—2 м.

Более резкие фациальные изменения отложений этого продуктивного пласта происходят в северном направлении. Крупнообломочный материал прослеживается по забоям карьеров на протяжении не более 1—2 км. Затем он замещается менее крупным костным детритом, и уже в северной части месторождения в неглубоких (0.1—0.5 м) промоинах и углублениях фиксируются мелко- и тонкоизмельченные (до 0.5—1 мм) костные остатки ихтиофауны с минимальной примесью глинистого вещества (2—3%) и тонкодисперсного пирита (до 8%).

По существу описанная порода представляет собой хорошо отмытый волновыми движениями и морскими течениями природный концентрат костного детрита, в котором содержание урана достигает 0.2—0.5%, а редких земель — 1—2%, тогда как в костной брекчии отмечается их мизерное количество (до 0.02 и 0.2% соответственно).

Второй рудный пласт (как и первый) в юго-восточной части месторождения представлен прослоем (5—30 см) костной брекчии и отделяется от нижнего четко выраженной границей размыва. Здесь брекчия содержит меньшее количество крупных обломков костей, не так плотно сце-

ментирована и характеризуется отсутствием барита и целестина. Содержание урана в ней составляет 0.03—0.05%. Этот пласт наиболее выдержан и максимально распространен на площади рудного поля. В западной же части поля он расслаивается глинами на многочисленные тонкие прослои костного детрита, и мощность его отложений возрастает до 2—2.5 м. Содержание урана в них колеблется от 0.04 до 0.06%.

Третий и четвертый продуктивные пласты (в отличие от первых двух) в юго-восточной части поля представлены тонкослойистой рудной породой, насыщенной мелкодробленными костным детритом рыб (12—18%) и тонкодисперсным пиритом (28—40%). Компактные рудные тела залегают на размытой поверхности костной брекчии

второго пласта или непосредственно на выступах подстилающих глин жазгурлинского горизонта. В их основании присутствуют крупные (до 0.5—0.8 см) кости и позвонки рыб. На контакте третьего и четвертого пластов в глинистом прослое часто встречаются обломки (до 15—20 см) древесины, а также целые деформированные (сплюснутые) углефицированные стволы деревьев.

В центральной части месторождения происходит расслоение третьего пласта и его мощность возрастает до 1.5—2.5 м. Четвертый же пласт увеличивается до 1.2—1.5 м, а затем полностью выклинивается.

Содержание в третьем пласте урана достигает 0.03—0.055%, а редких земель — 0.1—0.36%, в четвертом — 0.04—0.06% и 0.5—2% соответственно.

На протяжении нескольких десятилетий пристальное внимание многих исследователей привлекал сульфидный прослой мощностью всего 5—15 см (редко до 30 см), залегающий в основании рудной залежи в северо-западной части месторождения Мелового. Он сложен мелкими (0.3—0.5 мм) стяжениями — пизолитами, концентрическое строение которых обусловлено чередованием тонких слоев пирита (42%) и глинистого материала с органическим веществом (рис.6). Главная особенность состава этого прослоя — присутствие костных остатков рыб (10%), в том числе крупных позвонков (5—8 см) и зубов акул (1—3 см), а также многочисленных обломков (до 10—15 см) углефицированной древесины. Количество пирита в нем составляло в среднем 42%, а содержание урана — 0.015—0.024% [5].

Сульфидный прослой в северо-западной части Мангышлака, в пределах Сегендыкской синклина-

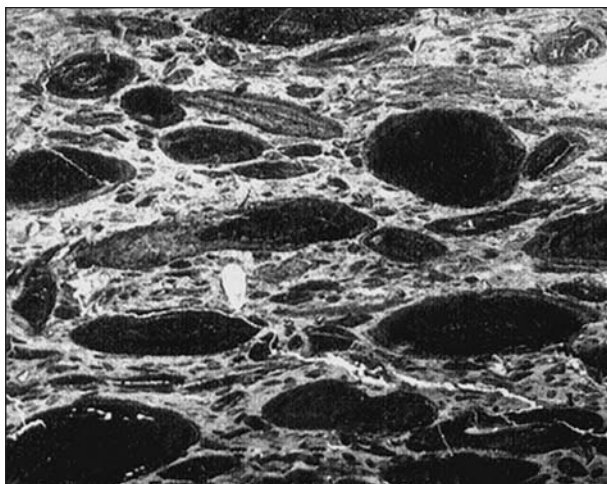


Рис.6. Сульфидный прослой. Пизолиты размером 0,3—0,5 мм сложены пиритом и глинистым материалом, обогащенным органическим веществом.

ли, на протяжении 150—200 км четко фиксировал поверхность внутрiformационного перерыва в осадконакоплении.

Условия образования рудных залежей на полуострове Мангышлак

Прежде всего подчеркнем, что район Мангышлака, где располагаются уникальные урановые месторождения, в палеогеографическом отношении представлял собой область шельфа, во внешней части которой длительный период времени существовала обширная плоская низменная суша. На отложениях жазгурлинского горизонта и нижнего олигоцена образовалась маломощная кора выветривания, в которой накопилось значительное количество гидроокислов железа.

В конце жазгурлинского времени из-за резкого изменения тектонического режима началось интенсивное погружение покрытой растительностью суши, закончившееся полным ее затоплением.

В дальнейшем в бассейн седиментации усилилась подача сероводорода из Карагиинского глубинного разлома, что способствовало образованию сульфидного прослоя. Вскоре в результате значительной активизации тектонических процессов в пределах Карагиинского сводового поднятия возникла довольно обширная подводная отмель с весьма благоприятными биологическими условиями для обитания и развития ихтиофауны и фитопланктона. Фактически эта отмель служила нерестилищем для рыб, а вслед за ними сюда устремились крупные морские хищники — акулы и зубатые киты.

Во время формирования рудоносных отложений подводная отмель периодически выходила на поверхность, образуя островные архипелаги, по-

крытые крупной древесной растительностью, на что указывают многочисленные обломки и стволы углефицированных деревьев в отдельных пластах рудной залежи.

Для интенсивного развития и размножения ихтиофауны и фитопланктона требуются небольшая глубина и хороший прогрев морской воды, но наиболее важное условие — непрерывное возобновление концентраций фосфора и других питательных элементов в морской воде.

Как показывают исследования, в современных морях и океанах максимальное количество ихтиофауны скапливается главным образом на подводных банках или отмелях, как правило, представляющих собой промысловые зоны [6].

Рассматривая условия жизнедеятельности ихтиофауны, мы всегда задаемся весьма важным вопросом об источниках фосфора, поступающего в морской бассейн. Они должны были на протяжении тысячелетий обеспечивать жизнедеятельность огромных масс морских обитателей в одной и той же биозоне.

Многолетнее изучение этой сложной проблемы показало, что фосфор поступал в олигоценый морской бассейн из приразломной зоны Карагиинского сводового поднятия в составе низкотемпературных (<100°C) гидротермальных растворов [5, 7, 8].

Наконец, приступим к рассмотрению самого загадочного вопроса, стоявшего перед многими исследователями в течение 50 лет. Что же послужило причиной массовой катастрофической гибели рыб?

Только недавно удалось установить истинную природу столь необычного явления [9]. Внезапная периодическая массовая гибель морских организмов, обитавших в районе подводной отмели в осевой части Карагиинского сводового поднятия, происходила в результате вулканической деятельности, которая максимально проявилась на Мангышлаке в позднем олигоцене, т.е. во время формирования рудных залежей [5]. Именно тогда отмечалась многократная активизация подводных вулканических очагов.

В первую фазу извержений, на фоне значительного воздымания Карагиинского сводового поднятия, начал действовать один из четырех очагов, где и произошел взрыв, сопровождавшийся выбросом пепла в атмосферу, а в поствулканическую стадию — поступлением высокотемпературных (200—300°C) гидротермальных растворов, которые были обогащены редкими металлами и гидроксидами железа. Накопившийся в осадках туфогенный материал четко обозначил нижний предел вулканической деятельности. Высокотемпературные растворы, с одной стороны, вызывали массовую гибель рыб, а с другой — способствовали обогащению морской воды ураном, редкими землями, гидроксидами железа и др. Уран и редкие земли в процессе сорбции [10] ин-

тенсивно накапливались из морской воды в костных остатках ихтиофауны.

Накопление костного детрита и сульфидов в рудных залежах на Мангышлаке происходило одновременно, но из абсолютно разных источников: биогенного для костного детрита рыб и эндогенного (вулканического) для сульфидов железа. Огромные массы последних образовывались в рудных залежах при взаимодействии гидроксидов железа с реакционноспособным органическим веществом, накопившимся в пластовых скоплениях костных остатков. В придонных морских водах под действием бактерий осуществлялась редукция сульфатов морской воды, которая также способствовала накоплению сульфидов.

Механизм формирования рудных залежей можно представить следующим образом (рис.7). После гибели морских обитателей их остатки осаждались на дно подводной отмели, где образовывались сапропелевые осадки, обогащенные органическим материалом. При разложении погибшей ихтиофауны в районе отмели произошло сероводородное заражение наддонных вод. В дальнейшем, с усилением тектонических движений в период максимального воздымания Карагинского сводового поднятия, подводная отмель входила в зону активной гидродинамики, когда сапропелевые осадки размывались и переотлагались в относительно погруженные участки дна бассейна [11]. Костный детрит концентрировался в промоинах и западинах, существовавших в палеорельефе водоема, образуя первый рудный пласт. Привнос в морской бассейн редких элементов в ту фазу был сравнительно небольшим, о чем можно судить по минимальному содержанию здесь урана (0.035%) и редких земель (0.2%). Данное подводное извержение оказалось наиболее сильным, но кратковременным, что подтверждается максимальным воздыманием Карагинского поднятия и небольшой мощностью этого рудного пласта.

После завершения первой фазы активной вулканической деятельности в районе островного архипелага наступило продолжительное затишье, о чем говорят находки многолетней древесной растительности.

В то время в области Карагинского сводового поднятия проявились нисходящие тектонические движения, которые привели к погружению островного архипелага и его затоплению. На подводной отмели восстановился нормальный газовый режим, что наряду с привносом фосфора и других питательных элементов (в составе уже охлажденных низкотемпературных гидротермальных растворов, поступающих в водоем из подводного вулканического очага) обеспечило жизнедеятельность и пышный расцвет ихтиофауны и фитопланктона.

Затем наступила вторая фаза активной деятельности другого подводного вулканического

очага, отличавшаяся продолжительным поступлением высокотемпературных растворов и повышенной концентрацией в них редких элементов. Об этом свидетельствуют большая мощность второго рудного пласта и максимальное его распространение в пределах месторождения Мелового, а также повышенное содержание урана (0.06%) и редких земель (0.5%).

В последующие III и IV фазы интенсивность вулканической деятельности постепенно снижа-

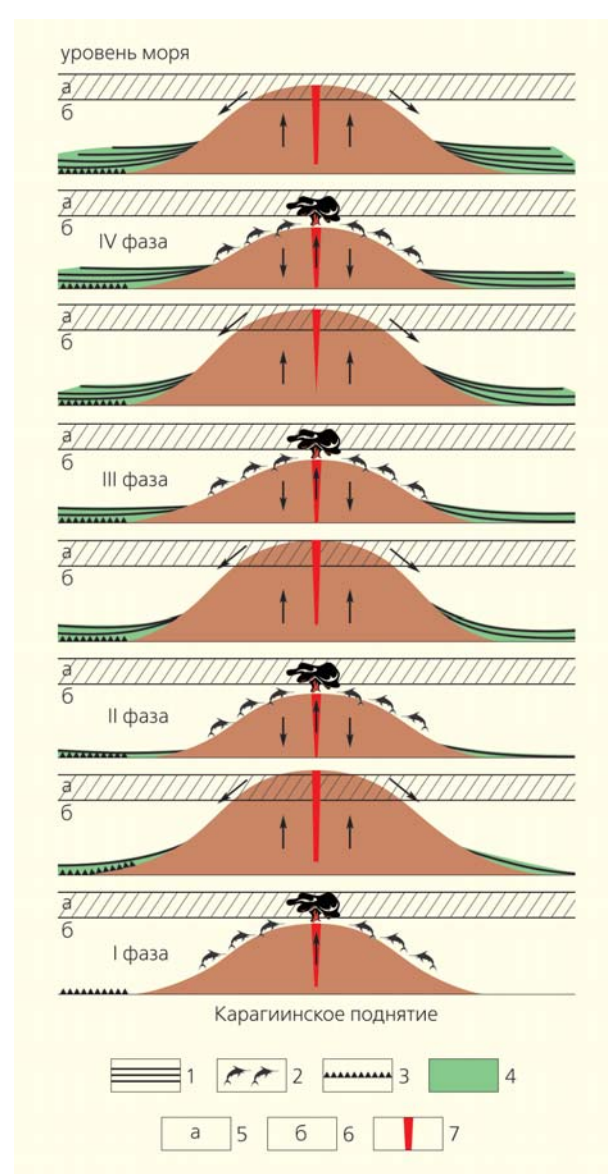


Рис.7. Генетическая модель формирования рудных залежей ураново-редкометалльных месторождений Мангышлака: 1 — рудные пласты; 2 — погибшая ихтиофауна; 3 — сульфидный прослой; 4 — Карагинское сводовое поднятие; 5 — зона взмучивания; 6 — зона осаждения; 7 — подводный вулканический очаг. Стрелками показаны тектонические движения (восходящие, нисходящие) и направления разноса костного детрита.

лась в связи с уменьшением амплитуды тектонических колебаний в области Карагинского поднятия. Это обстоятельство, в свою очередь, привело к смещению верхних пластов в сторону поднятия, где в приразломной зоне размещался подводный вулканический аппарат.

Итак, главными факторами, обусловившими возникновение уникальных геологических образований на Мангышлаке, были активный тектонический режим, подводная вулканическая деятельность, а также гидродинамика и палеорельеф олигоценового морского бассейна.

Рудные залежи Калмыкии

Чрезвычайно большой интерес вызывает второй геологический феномен ураново-редкометалльных месторождений, который располагается в 1500 км от Мангышлака, в пределах Ергенинского р-на Калмыкии. Здесь в 1956—1965 гг. Кольцовская экспедиция установила семь месторождений в западной части района и девять месторождений и 14 рудопроявлений — в восточной.

Несмотря на огромное расстояние, ураново-редкометалльные залежи Калмыкии по геологическому строению, составу и содержанию редких элементов очень похожи на месторождения Мангышлака. Однако они резко отличаются по размещению в разрезе верхнеолигоценовых отложений калмыцкой рыбной подсвиты на четырех рудных горизонтах [5].

Наиболее важная особенность калмыцких рудоносных отложений — образование в дорудное время в подошве подсвиты сульфидного прослоя мощностью 10—20 см, который был абсолютным аналогом мангышлакского сульфидного прослоя и тоже фиксировал поверхность внутриформационного перерыва в осадконакоплении на обширной территории (свыше 900 км² Ергенинского р-на) (рис.8). Здесь также находили крупные кости и позвонки акул (до 10 см) и многочисленные обломки (до 15 см) обугленной древесины.

Приведем краткую характеристику рудных горизонтов.

Степновский рудный горизонт — один из самых древних и широко распространенных на всей территории Ергенинской ураноносной провинции. В нем сосредоточились на-



Рис.8. Сульфидный прослой в основании рудоносных отложений калмыцкой рыбной подсвиты. Шлиф, николи параллельны. Увел. 72.

иболее крупные ураново-редкометалльные месторождения: Степное, Воробьевское, Яшкульское, Троицкое и Центральное (рис.9). Они располагаются непосредственно на размытой поверхности, отвечающей внутриформационному перерыву в осадконакоплении в районе древнего Белоглин-

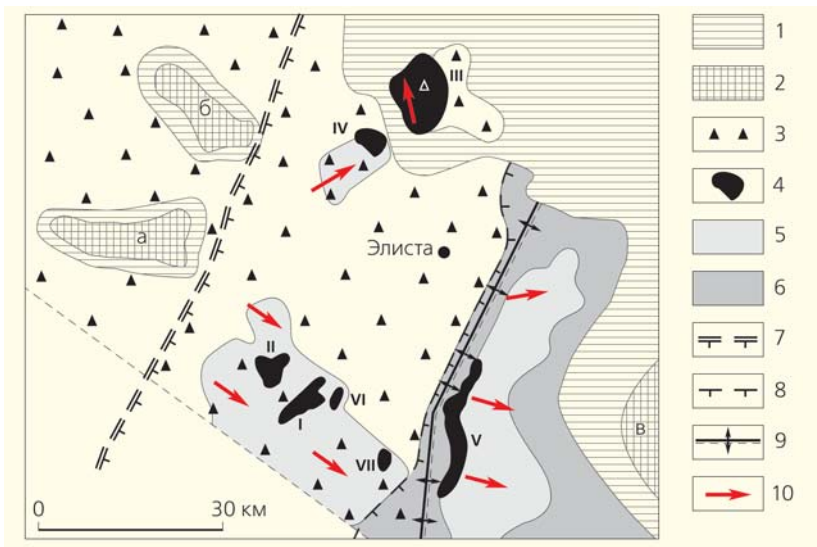


Рис.9. Палеогеологическая карта поверхности внутриформационного перерыва в осадконакоплении с рудными залежами месторождений степновского горизонта: 1 — область отсутствия отложений верхнего олигоцена; 2 — сводовые поднятия: а — Белоглинское, б — Ремонтненское, в — Песчаное; 3 — область распространения сульфидного прослоя; 4 — рудные залежи месторождений: I — Степное, II — Воробьевское, III — Яшкульское, IV — Троицкое, V — Центральное; рудопроявления: VI — Ульдючинское, VII — Цаганхакское; 5 — ореол рассеивания костных остатков рыб; 6 — ореол рассеивания чешуек рыб; 7 — Ипатовский глубинный разлом; 8 — контур поверхности размыва отложений дорудного горизонта; 9 — Харабулукское сводовое поднятие; 10 — направление сноса костного детрита.

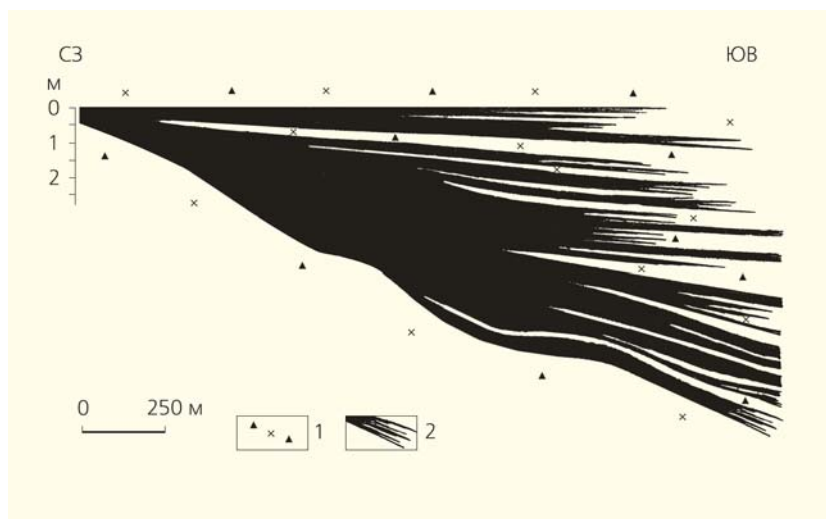


Рис.10. Поперечный разрез рудной залежи месторождения Степного: 1 — глины темно-бурые с обильными остатками рыб и тонкодисперсным пиритом; 2 — рудная залежь.

ского поднятия. Общая мощность рудоносных отложений степновского горизонта на территории Ергенинской провинции с запада на восток изменяется от 0 до 25 м, а перекрывающих его глин — от 0 до 125 м.

По масштабам и геологическому строению резко выделялась рудная залежь месторождения Степного мощностью от 0.4 до 2.5 м (рис.10). Она размещалась в промоине глубиной до 10 м, существовавшей в палеорельефе морского бассейна, и протягивалась на 11 км. Общая ее площадь составляла 10 км².

Головная часть залежи, располагавшаяся на восточном склоне Белоглинского поднятия, имеет компактное строение, а в погруженной зоне расслаивается глинами, и ее мощность там возрастает до 6–8 м. Руды состоят из фоссилизированных

масштабам пластовые скопления и линзовидные залежи костного детрита.

Процесс рудообразования в этом горизонте начался благодаря возникновению в осевой части Харабулукского сводового поднятия нового глубинного разлома с подводным вулканическим очагом, сыгравшим главную роль в формировании рудоносных отложений [5].

Рудные тела крупных месторождений (Северо-Харабулукского, Нугринского) на западном крыле Харабулукского сводового поднятия простираются на 8–15 км. Их мощность составляет 1.3–2.2 м. Мелкие месторождения на восточном крыле состоят из линз и отличаются крайней невыдержанностью по простиранию и максимальным накоплением мелкораздробленного костного детрита (рис.11). В них отмечают наиболее высокие

ных костных остатков ихтиофауны (15%), тонкодисперсного пирита (35%) и глинистого материала (46%). Размер основной массы (86%) костных остатков не превышает 0.1–0.5 мм, а более крупные обломки костей и позвонки (14%) достигают 3–5 см. Содержание урана в рудной залежи колеблется от 0.012 до 0.07%, а редких земель — от 0.2 до 0.37%.

Южно-Буратинский рудный горизонт распространен в основании второго цикла осадконакопления в восточной части Ергенинской провинции, в пределах Багабурульского рудного поля (рис.11). Мощность рудоносных отложений составляет 0.5–10 м, а перекрывающих глин — от 6 до 150 м. Здесь находятся различные по

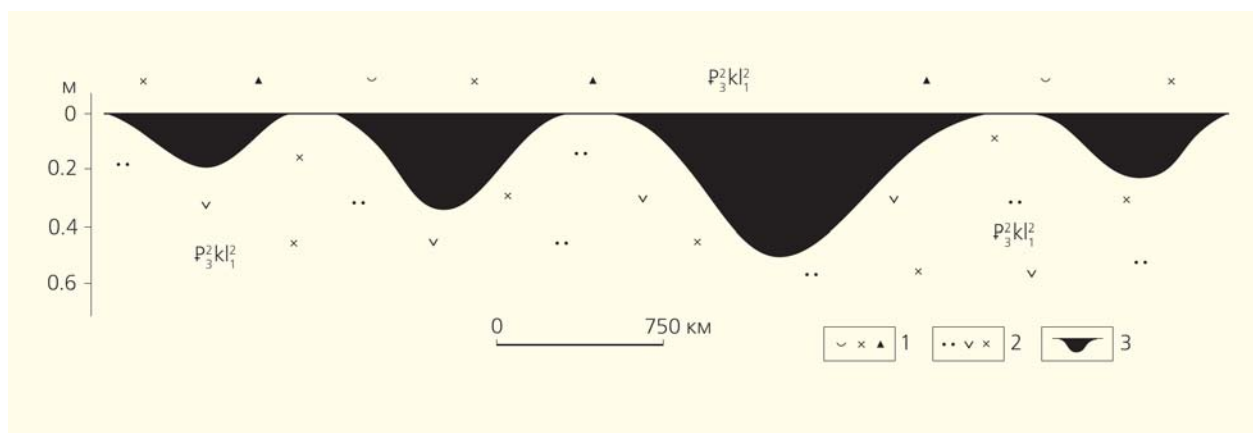


Рис.11. Продольный разрез линзовидных рудных тел Южно-Буратинского месторождения: 1 — глины темно-бурые с обильными остатками рыб и тонкодисперсным пиритом; 2 — глины темно-серые с редкими остатками рыб, алевритовые; 3 — линзы рудных тел.

концентрации урана (0.132–0.164%) и максимальная насыщенность им (0.011–0.012%) костных остатков рыб.

Шаргадыкский рудный горизонт ознаменовал второй этап рудообразования в западной части Ергенинской провинции, где его отложения фиксируются на довольно ограниченной площади (320 км²), примыкающей к Ремонтненскому сводовому поднятию. Здесь размещаются крупные залежи Шаргадыкского и Богородского месторождений. Они находятся в 20–25 км от осевой части поднятия, где существовал Ипатовский глубинный разлом с подводным вулканическим очагом.

Мощность рудоносных отложений шаргадыкского горизонта изменялась от 0.5 м в районе Ремонтненского поднятия до 20–30 м в пределах Богородского месторождения. Маломощные (1–2 см), невыдержанные скопления костного детрита рыб прослеживаются к юго-востоку на расстоянии 20 км. Мощность перекрывающих их глин возрастает от 30 до 50 м.

Рудные залежи месторождений шаргадыкского горизонта характеризуются значительным количеством крупнообломочного материала (до 40%) и присутствием многочисленных фрагментов (до 10 см) углефицированной древесины.

Другие особенности этих руд — обогащение сульфидами (до 40–60%), низкое содержание урана (0.03–0.046%) и редких земель (0.20–0.38%), а также минимальная насыщенность костных остатков ураном (0.0033–0.0044%) и редкими землями (0.028–0.030%).

Багабурульский рудный горизонт включает девять месторождений (преимущественно мелких) и 12 рудопроявлений. Среди них выделяются Вишневское (рис.12), Багабурульское и группа рудных тел, объединенных в месторождение Северо-Восточной части Багабурульского рудного поля. Все эти линзовидные рудные тела размещаются на восточном крыле Харабулукского сводового поднятия

и характеризуются большим количеством костного детрита (45–47%), низким содержанием сульфидов железа (13–16%) и максимальным количеством (до 52%) алевритовой фракции.

Вишневское месторождение (площадь не более 0.5 км²) представлено линзовидной рудной залежью мощностью 0.6–0.8 км, вытянутой в меридиональном направлении на 3 км. Она состоит из рудных тел размером 50–150 м, разделенных глинистыми прослоями протяженностью 5–10 м. Руды сложены костным детритом, слабосцементированным глинисто-сульфидным материалом. Размер костных остатков колеблется от долей миллиметра до одного сантиметра. Содержание урана изменяется от 0.05 до 0.08% в нижней части залежи до 0.154% — в верхней, а редких земель — от 0.3 до 0.49% соответственно. Насыщенность костных остатков ураном в среднем не превышает 0.0056, а редкими землями — 0.026%.

Размещение ураново-редкометалльных месторождений на четырех стратиграфических горизонтах в Ергенинском районе Калмыкии было предопределено следующими факторами:

- наличием двух древних региональных сводовых поднятий — Белоглинского, Ремонтненского в западной части района и более молодого Харабулукского — в восточной;

- существованием в дорудное время в осевых областях сводовых поднятий подводных отелей с весьма благоприятными условиями для жизнедеятельности и развития ихтиофауны;

- проявлением в Ипатовской и Харабулукской приразломных зонах подводных извержений из четырех вулканических аппаратов.

* * *

Заканчивая характеристику ураново-редкометалльных месторождений Мангышлака и Калмыкии, особо подчеркнем существование внутриформационных перерывов в осадконакоплении,

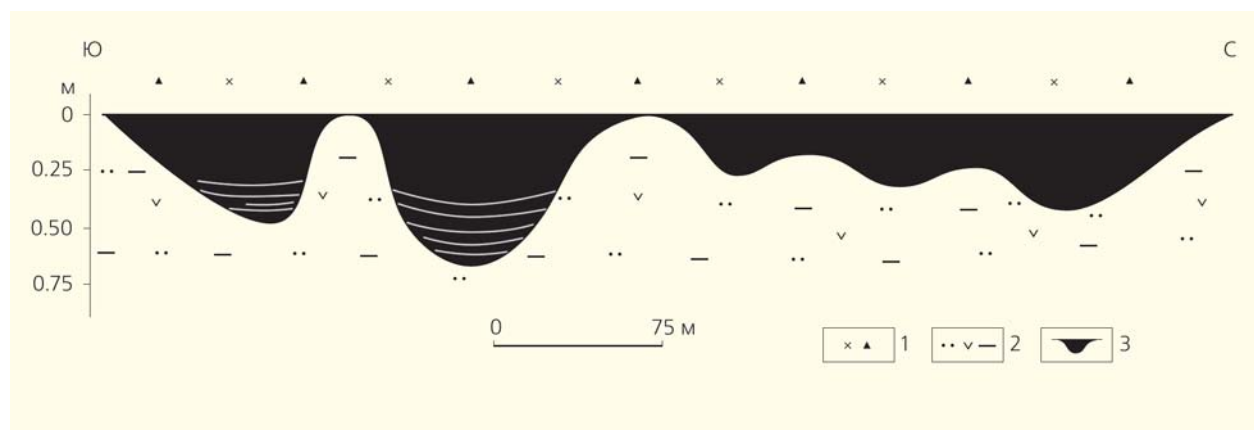


Рис.12. Продольный разрез рудной залежи Вишневского месторождения. 1 — глины темно-серые с частыми остатками рыб и тонкодисперсным пиритом; 2 — глины серые с присыпками алеврита и водорослевыми остатками; 3 — рудная залежь.

возникших одновременно (до начала формирования рудных залежей) в двух разных регионах, удаленных на огромное (до 1500 км) расстояние друг от друга. Именно это чрезвычайно редкое в природе явление предопределило образование уникальных органогенно-фосфатных месторождений. Примечательно, что поверхности этих пере­рывов в осадконакоплении в разных регионах Восточного Паратетиса фиксировались идентичными сульфидными прослоями.

На рубеже дорудного и рудного времени в верхнем олигоцене на Мангышлаке и в Калмыкии проявилась широкая активизация восходящих тектонических движений, которая сопровождалась интенсивной подводной вулканической деятельностью. Об этом свидетельствуют туф­фитовые прослои в рудоносных отложениях Мангышлака, а также гальмиролизированные пеплы и прослои туф­фитов в отложениях Ергенинского района Калмыкии [5]. Извержения подводных вул-

канических очагов привели к катастрофической массовой гибели ихтиофауны.

Формирование рудных залежей ураново-редкометалльных месторождений в двух разных регионах происходило по одинаковой схеме под влиянием активной гидродинамики морского бассейна.

Образование столь грандиозных скоплений ураноносных фоссилизованных костных остатков стало возможным только благодаря исключительному обстоятельству — отделению майкопского бассейна в позднеолигоценое время и полной его изоляции от Мирового океана в периоды проявлений активной подводной вулканической деятельности.

В данной статье подведены итоги 60-летних исследований уникального геологического феномена — ураново-редкометалльных месторождений, выявленных только в пределах Восточного Паратетиса. ■

Литература

1. Шарков А.А. История открытий и исследований уникальных стратиформных ураново-редкометалльных месторождений Восточного Паратетиса (1953—2013 гг). М., 2013.
2. Шарков А.А. Литология рыбной подсвиты верхнего олигоцена Южного Мангышлака // Литология и полезн. ископаемые. 1963. №2. С.262—272.
3. Митрофанов В.Н., Ганьжина А.Ф., Гончаров А.С. и др. Выявление связей между пространственным размещением органогенно-фосфатных месторождений урана Южных Ергеней и Южного Мангышлака. Л., 1964.
4. Машковцев Г.А., Кисляков Я.М., Мизута А.К. и др. Промышленные генетические типы урановых месторождений // Отечественная геология. 1998. №4. С.13—20.
5. Шарков А.А. Ураново-редкометалльные месторождения Мангышлака и Калмыкии, их генезис. М., 2008.
6. Мартинсен Ю.В. Рыбные ресурсы Мирового океана // Сборн. научной информации. №6. М., 1962.
7. Холодов В.Н., Бутузова Г.Ю. Фосфор в гидротермальном процессе // Литология и полезн. ископаемые. 1999. №3. С.227—243.
8. Холодов В.Н., Бутузова Г.Ю. Проблемы геохимии железа и фосфора в докембрии // Литология и полезн. ископаемые. 2001. №4. С.339—352.
9. Шарков А.А. О генезисе органогенно-фосфатных месторождений урана и редких земель Южного Мангышлака // Отечественная геология. 2005. №6. С.29—41.
10. Рожкова Е.В., Разумная Е.Г., Щербак О.В. и др. Роль сорбции в концентрации урана в осадочных породах // Труды II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Докл. иностр. ученых (Женева). Т.3. М., 1959.
11. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т.1. М., 1962.

Ингибитор из кукурузы на страже свертывания крови

В.А.Корнеева

Свертывание — это процесс, превращающий жидкую кровь в желеобразную массу, которая защищает нас от кровопотери при нарушении целостности сосуда. Выделяют два звена свертывания крови — сосудисто-тромбоцитарное и плазменное. В первом в основном работают эндотелий сосудов и специальные клеточные тельца — тромбоциты, которые прикрепляются к поврежденной сосудистой стенке и друг к другу, формируя в месте ранения пробку. Второе звено, плазменное, управляется каскадом белков свертывания крови — преимущественно сериновых протеаз (ферментов, разрезающих пептидные связи), которые активируются, протеолитически расщепляя друг друга (рис.1). Процесс изменения агрегатного состояния крови может запускаться двумя способами — внешним и внутренним (контактным). Внешний путь работает, когда в кровоток в месте повреждения сосуда попадает трансмембранный белок — тканевый фактор (не будучи сериновой протеазой, он работает как рецептор для другого белка свертывания — фVIIa*). Тканевый фактор несут клетки всех



Вера Анатольевна Корнеева, старший научный сотрудник лаборатории молекулярных механизмов гемостаза Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН. Научные интересы связаны с экспрессией рекомбинантных белков, регуляцией плазменного свертывания крови, ингибированием сериновых протеаз.

тканей организма, за исключением эндотелия и клеток крови, а значит, плазма взаимодействует с ним только при повреждении выстилки сосуда. Такой запуск системы свертывания физиологичен и обеспечивает остановку кровотечения. Внутренний механизм активации срабатывает при контакте крови с отрицательно заряженными поверхностями, в том числе чужеродными для организма. Тромбоз (внутрисосудистое образование сгустка, перекрывающего ток крови) — причина тяжелых заболеваний, таких как инфаркты и инсульты, с высоким уровнем смертности. К сожалению, до сих пор не существует идеального (т.е. эффективного и безопасного) антитромботического препарата, не вызывающего «перекося» системы свертывания в сторону кровотечений.

Контактная активация свертывания

Запуск плазменного свертывания по контактному пути начинается с автоактивации фактора XII при его взаимодействии с отрицательно заряженными поверхностями: *in vivo* — с мембраной активированного тромбоцита или бактериальной клетки, коллагеном и внеклеточными нуклеиновыми кислотами (т.е. веществами, в избытке присутствующими вблизи места повреждения сосуда); *ex vivo* — со стенками, катетерами и элементами сердечно-легочного шунтирования; *in vitro* — со стенками пластиковых и стеклянных пробирок при заборе крови. Фактор XII также может активироваться высокомолекулярным кининогеном. Его положительно заряженный домен, богатый гистидином, в присутствии ионов цинка способствует связыванию комплекса, состоящего из кининогена и фXII, с отрицательно заряженной поверхностью.

* Белки свертывания называют факторами (кратко «ф») и обозначают римскими цифрами (в порядке официального открытия). Буква «а» означает, что белок находится в активной форме.

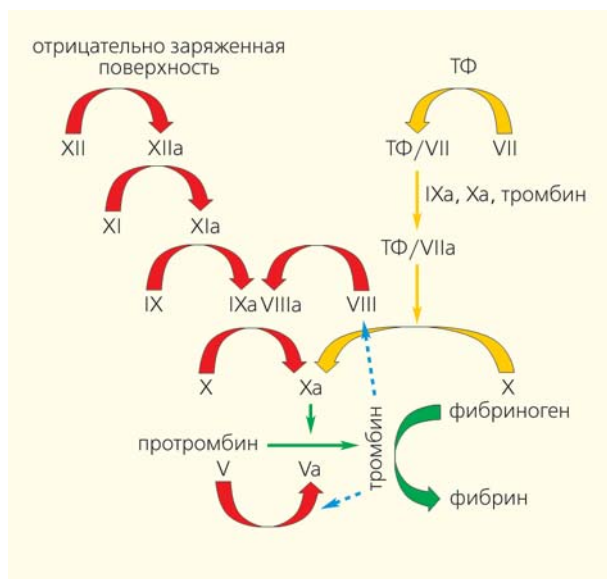


Рис.1. Упрощенная схема каскада плазменного свертывания крови (объяснение в тексте). Внутренний, или контактный, путь активации показан красными стрелками, внешний — желтыми, общие реакции обоих путей — зелеными, положительные обратные связи — синими. Римскими цифрами обозначены факторы свертывания, буквой «а» — их активированные формы. ТФ — тканевый фактор.

В неактивной форме фXII — одноцепочечный полипептид с молекулярной массой 80 кДа, состоящий из нескольких доменов (рис.2). На С-конце белка расположен каталитический домен (28 кДа), а на N-конце — регуляторные домены (52 кДа), в том числе и те, посредством которых осуществляется взаимодействие с отрицательно заряженной поверхностью. При связывании с ней фактора XII конформация каталитического домена изменяется так, что в нем происходит гидролиз пептидной связи между двумя аминокислотными остатками — аргинином-353 и валином-354, результатом чего становится автоактивация фXII. Белок разде-

ляется на тяжелую и легкую цепи (353 и 243 аминокислотных остатка соответственно), которые остаются связанными за счет дисульфидного мостика между цистеинами 359 и 486 [1]. Так образуется альфа-фXIIa, который активирует фактор XI (следующего участника в каскаде ферментативных реакций плазменного свертывания), а также превращает прекалликреин в калликреин. Последний переводит в рабочее состояние фXII с образованием альфа-, а из нее — бета-формы (каталитического домена с массой 28 кДа) за счет протеолитического расщепления. Бета-фXIIa сохраняет способность активировать калликреин, но не фактор XI.

На пользу или во вред

Фактор XIa, образовавшийся в результате работы альфа-формы фXIIa, запускает расщепление следующих протеаз в каскаде плазменного свертывания — факторов IX, X и протромбина (см. рис.1). В итоге тромбин превращает фибриноген в нерастворимый фибрин и переводит в рабочее состояние фактор XIII. Фибрин полимеризуется, образуя длинные белковые нити — фибриллы, которые ковалентно сшиваются фактором XIIIa в трехмерную сеть, препятствующую вытеканию крови из раны.

В организме при повреждении кровеносного сосуда плазменное свертывание, однако, активируется не по контактному пути, а за счет тканевого фактора. Этот трансмембранный гликопротеин, присутствующий на поверхности всех клеток, кроме кровяных и эндотелиальных, при образовании отверстия в сосуде контактирует с кровью. Формируется так называемый комплекс внешней теназы (тканевый фактор с фVIIa), который далее расщепляет факторы IX и X, и в результате рана перекрывается фибриновым сгустком.

Роль контактной активации в гемостазе (поддержании крови в жидком виде и предотвращении и остановке кровотечений) до сих пор не вполне ясна. Дефицит фXII был впервые обнаружен

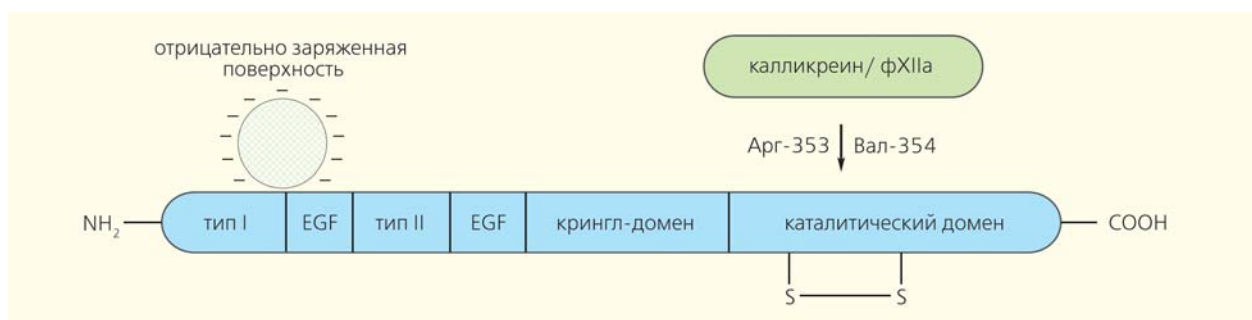


Рис.2. Структура активированного фактора XII. Белок состоит из 6 доменов: типов I и II, двух — аналогичных эпидермальному фактору роста (EGF), крингл-домена (дат. kringle — разновидность кренделя; такая форма обеспечивается β-структурами аминокислотной последовательности) и каталитического. Расщепление калликреином или автоактивация фактора XII переводят его в протеолитически активную форму, для которой фактор XI и прекалликреин — субстраты. С NH₂-концом фактора XII могут связываться отрицательно заряженные поверхности.

в 1955 г. у Джона Хагемана (поэтому этот белок также называют фактором Хагемана). Его кровь не сворачивалась в стеклянной пробирке. Однако недостаток фХII не оказывает заметного влияния на гемостаз, так как пациенты и животные без фХII не страдают от кровотечений [2, 3].

Участие фХII в патологическом тромбообразовании было доказано экспериментально на моделях тромбоза, вызванного хлоридом железа, индуцированной коллагеном тромбоэмболии легочной артерии, лигирования аорты и острого ишемического инсульта [2, 4, 5]. Мыши с дефицитом фХII не отличались от здоровых животных по длительности ногтевого и хвостового кровотечений, что говорит об отсутствии у них нарушений гемостаза. В то же время мыши без фХII в экспериментах с индуцированным тромбозом оказались частично от него защищенными: размер тромба, объем поврежденной ткани и смертность у них были значительно ниже, чем у грызунов из контрольной группы. Повышение концентрации фХII в плазме экспериментальных животных до обычных значений приводило к развитию обширного тромбоза.

Как бороться

Активированный фактор XII — многообещающая мишень для создания новых антитромботических препаратов, так как сдерживание работы этого фермента не оказывает влияния на гемостаз, но позволяет предотвратить патологическое формирование сгустков при состояниях, сопровождающихся чрезмерным тромбообразованием. Крайне важно также ингибировать фХIIа при любых манипуляциях с кровью, когда она контактирует с чужеродными для организма поверхностями, вводимыми в сосуды при трансфузии, сердечно-легочном шунтировании, заборе крови. Следовательно, изучение механизмов подавления фактора XIIа и особенностей взаимодействия этой протеазы с лучшими из существующих ингибиторов — очевидный и необходимый этап при разработке новых антитромботических средств.

Контактная активация свертывания (т.е. задействованные в ней белки — сериновые протеазы) в кровеносном русле блокируется рядом плазменных ингибиторов фХIIа, таких как С1-ингибитор, антитромбин III, α 2-антиплазмин и α 2-макроглобулин. Существуют, однако, аналоги и неплазменного происхождения. Сериновые протеазы широко распространены в природе и составляют около трети всех известных протеолитических катализаторов. Они участвуют в важнейших процессах — пищеварении, оплодотворении, активации комплемента, апоптозе, иммунном ответе. Их обнаружили у представителей всех царств живых организмов. Эти ферменты играют важную роль в приспособительных реакциях прокариот к изменениям во внеклеточной среде, в питании и проникно-

вании бактерий в клетку-хозяина (инвазии). Вирулентность многих патогенных бактерий также обеспечивается сериновыми протеазами. Этим, вероятно, объясняется такое широкое распространение их ингибиторов в природе — известно 38 семейств. Благодаря тому, что каталитические центры разных сериновых протеаз схожи, «замедлителей» факторов свертывания человеческой крови находят в животных, растительных и бактериальных клетках. Уже описано 12 неплазменных ингибиторов фХIIа, принадлежащих к пяти семействам, из которых только один очевидно связан с подавлением свертывания крови — четвертый домен белка инфестина (инфестин-4) из желудка кровососущего клопа *Triatoma infestans* [6]. Другие ингибиторы в естественных условиях не могут оказывать в контакте с кровью человека.

Природные ингибиторы фХIIа — небольшие глобулярные белки с молекулярной массой от 3 до 16 кДа. Так как эволюционно они возникли не для подавления свертывания, их селективность в отношении фХIIа обычно невысока. Из 12 неплазменных ингибиторов избирательно тормозят активность фХIIа только ингибитор трипсина из кукурузы СНФИ (Corn Hageman Factor Inhibitor), или СТИ (Corn Trypsin Inhibitor), и инфестин-4.

Как работают сериновые протеазы и их ингибиторы

Свое название сериновые протеазы получили потому, что в состав их активного центра входит аминокислотный остаток серина. Он принимает непосредственное участие в специфическом расщеплении протеазой своей мишени по определенным аминокислотам. Боковые группы серина, гистидина и аспарагиновой кислоты формируют типичную каталитическую триаду протеазы. Ее активный сайт имеет форму щели, в которую и попадает молекула субстрата (рис.3). Между ним и аминокислотным остатком серина из каталитической триады образуется ковалентная связь. У канонических ингибиторов сериновых протеаз, таких как СНФИ и инфестин-4, из белкового остова значительно выступает петля, связывающая протеазу и замкнутая в цикл дисульфидным мостиком (в редких случаях он заменяется сильными нековалентными взаимодействиями). Эта петля входит в каталитический сайт протеазы и расщепляется там подобно субстрату. Однако гидролиз не ведет к потере ингибирующих свойств, так как их сохраняют обе формы ингибитора (одно- и двухцепочечная). Участок, непосредственно взаимодействующий с активным сайтом протеазы, включает шесть аминокислотных остатков. Более удаленные от расщепляемой связи остатки в принципе могут формировать контактный район, значительно влияющий на энергию связывания ингибитора с протеазой. Считается, что у канонических ингибиторов (в отли-

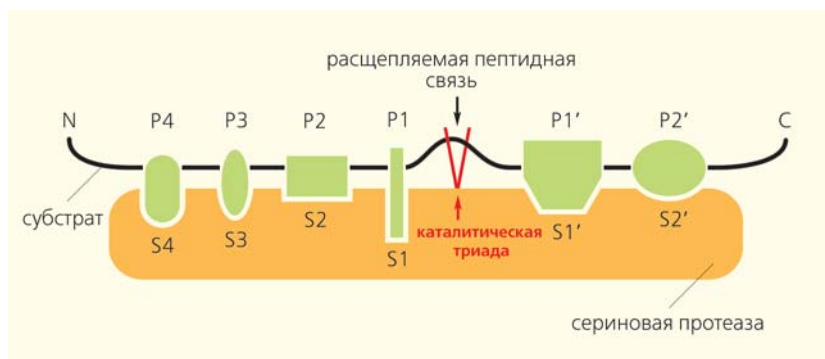


Рис.3. Схема расщепления субстрата сериновой протеазой (doi:10.1002/cbic.201000442). Показаны участки молекул вблизи активного сайта протеазы. Аминокислотные остатки субстрата P4-P1, P1', P2' контактируют с аминокислотными остатками в связывающем его участке протеазы, а в ее «щель», образованную каталитической триадой, попадает разрушаемая пептидная связь субстрата.

чие от неканонических и серпинов) взаимодействие с сериновой протеазой происходит только благодаря петле, а вторичные сайты связывания за пределами каталитического центра вообще не образуются. Аминокислотные последовательности петель, связывающих протеазу, у канонических ингибиторов могут сильно различаться, но конформация петли остается фактически одинаковой. Даже после расщепления она почти не меняется, если не считать локальные структурные преобразования около разрезанной пептидной связи. Подвижность разрезанной петли повышается, однако структура белка в целом остается неизменной.

Ингибитор фактора XIIa и его мутанты

CHFI — ингибитор сериновых протеаз, состоящий из 127 аминокислотных остатков, а его молекулярная масса составляет 14 кДа. Согласно данным рентгеноструктурного анализа [7], его петля, связывающая протеазу, имеет типичную форму — цикл, замкнутый дисульфидным мостиком между цистеинами 20 и 44 (рис.4). Расщепляемая пептидная связь находится между аргинином-34 и лейцином-35. Известно, что CHFI подавляет активность фXIIa, оказывая при этом минимальное влияние на другие факторы свертывания. Кристаллической структуры комплекса фXIIa с CHFI до сих пор нет, однако экспериментальные данные указывают на механизм взаимодействия, свойственный каноническим ингибиторам. CHFI широко применяется в различных тестах гемостаза для подавления контактной активации свертывания. Мы исследовали роль его петли, связывающей протеазу, и внепетельных участков в специфическом взаимодействии с фактором свертывания XIIa [8]. Для этого создали пять рекомбинантных* мутантов ингибито-

* Все рекомбинантные белки клонировались в *Escherichia coli*.

ра (рис.5), используя опубликованную пространственную структуру CHFI.

В каждом варианте отсутствовали N- и/или C-концевые участки и некоторые дисульфидные связи, а цистеины, которые оказались в результате неспаренными (и приводящими к образованию нежелательных S-S-мостиков), были заменены на аспарагиновую кислоту (см. рис.5). Для удобства мутантам дали названия по сохранившимся в них дисульфидным связям (например, в CHFI-234 имелись второй, третий и четвертый цистеиновые мостики). В числе рекомбинантных белков был и полноразмерный ингибитор без каких-либо

изменений — CHFI-12345. Мутант CHFI-2345 укорочен на 11 N-концевых аминокислотных остатков и лишен первой дисульфидной связи, в CHFI-1234 отсутствовали 24 аминокислотных остатка с C-конца, а также пятая дисульфидная связь. Мутант CHFI-234 представлял собой комбинацию первых двух вариантов: он укорочен на 11 N-концевых и 24 C-концевых аминокислотных остатка, и в нем разрушены первая и пятая S-S-связи. Чтобы понять роль участка между третьей и четвертой дисульфидными связями в кукурузном ингибиторе, а также выяснить значение четвертого S-S-мостика, мы создали вариант CHFI-123, который не содержал 34 C-концевых аминокислотных остатка, а также четвертого и пятого цистеинов.

Влияние участков CHFI вне ингибирующей петли на ее взаимодействие с фXIIa мы могли исключить из рассмотрения, используя синтетический циклический пептид CHFI-2 — изолированную петлю. Она содержит аминокислотные остатки CHFI с 20-го по 45-ый и замыкается в коль-

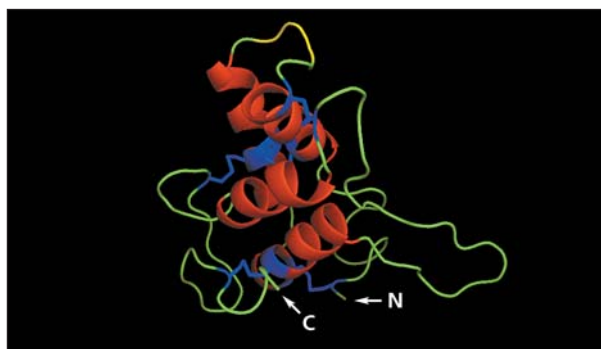


Рис.4. Структура полноразмерного ингибитора из зерен кукурузы. α-спирали показаны красным цветом, цистеины и дисульфидные связи между ними — синим, расщепляемая пептидная связь между аргинином-34 и лейцином-35 — желтым. Визуализация выполнена в программе PyMOL.

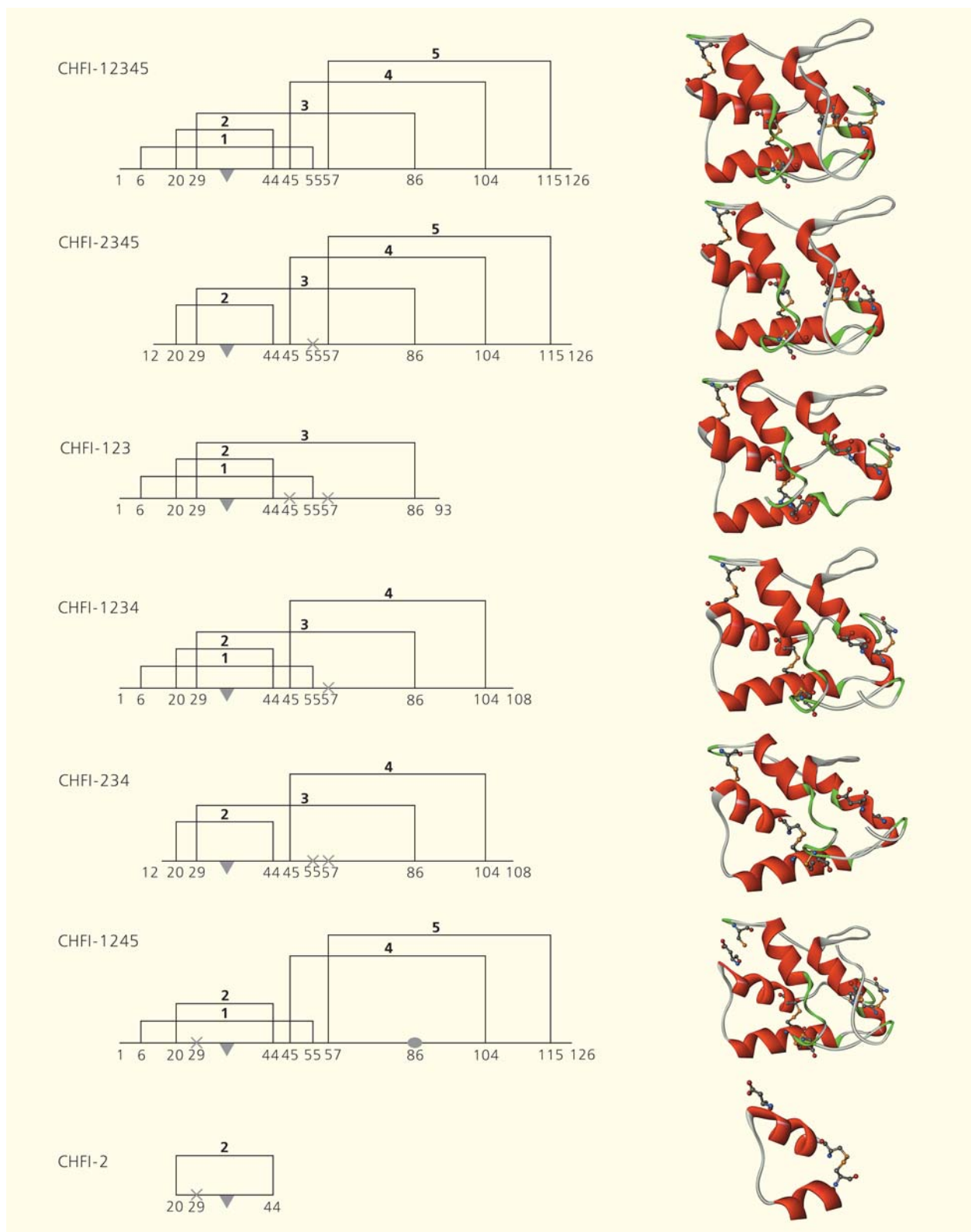


Рис.5. CHFI и его мутанты [8]. Приведены схемы вторичной структуры (слева) и предполагаемые конформации полноразмерного CHFI (CHFI-12345), пяти мутантов и изолированной ингибирующей петли (CHFI-2). На схемах указаны позиции цистеинов. S-S-мостики обозначены квадратными скобками; положение расщепляемой пептидной связи — треугольником; замены цистеина на аспарагиновую кислоту — крестиками; неспаренный цистеин — овалом. На структурах (построенных в программе Discovery Studio) красным изображены α -спирали, желтым — S-S-связи. Ингибирующая петля повернута влево.

до дисульфидной связью между цистеинами на ее N- и C-концах. Неспаренный цистеин-29, как и в случае с другими мутантами, заменили на аспарагиновую кислоту. Чтобы проверить, не влияет ли такая замена на функциональную активность изолированной петли, мы использовали СНФИ-1245 — полноразмерный ингибитор с аспарагиновой кислотой вместо цистеина-29.

Роль петли и других участков

По тому, как фермент расщеплял свой хромогенный субстрат* в присутствии рекомбинантного СНФИ или одного из мутантов, мы оценивали активность очищенных белков, вычисляя константы ингибирования с помощью преобразованного уравнения Михаэлиса—Ментен (таблица). Мы проверяли действие созданных белков на две протеазы (трипсин и фХIIа), которые специфически ингибируются СНФИ, и на фХIа. Сначала нужно было убедиться, что синтезированный клетками *E.coli* СНФИ-12345 работает так же, как и природный СНФИ, т.е. подавляет фХIIа. Действительно, отличия между рекомбинантным полноразмерным белком СНФИ-12345 и тем, который был выделен из зерен кукурузы (*Zea mays*), во взаимодействии с фХIIа отсутствовали.

В опытах был получен неожиданный результат: изолированная петля ингибитора (циклический пептид СНФИ-2) не мешала фактору XIIа расщеплять свой субстрат. Для ингибитора, который считается каноническим, это необычно, ведь изолиро-

* Хромогенный субстрат — вещество, приобретающее окраску после его расщепления специфическим протеолитическим ферментом.

Таблица

Константы ингибирования (Ki) фХIIа, трипсина и фХIа природным и рекомбинантным СНФИ и его мутантами

Ингибитор	Ki фХIIа, нМ	Ki трипсин, нМ	Ki фХIа, мкМ
Природный СНФИ	1.0 ± 0.1	2.1 ± 0.6	5.4 ± 0.2
СНФИ-12345	1.1 ± 0.2	1.3 ± 0.2	—
СНФИ-2345	1.0 ± 0.2	2.9 ± 0.5	—
СНФИ-1234	1.0 ± 0.3	1.0 ± 0.6	—
СНФИ-234	3.2 ± 0.4	2.2 ± 1.1	—
СНФИ-1245	50 ± 8	250 ± 20	490 ± 110
СНФИ-123	116 ± 16	н/о**	—
СНФИ-2	н/о*	11700 ± 1200	94 ± 11

* Не определено: СНФИ-2 не ингибировал фХIIа в концентрации до 1мМ.

** Не определено: СНФИ-123 не подавлял активность трипсина в концентрации до 75 мкМ.

ванная петля должна действовать как самостоятельный структурный элемент и обеспечивать взаимодействие с протеазой. Например, циклический пептид, представляющий собой петлю ингибитора SFTI-1 из подсолнечника, не только сохраняет свою активность в отношении трипсина, но подавляет его лучше, чем полноразмерный белок [9].

Вероятно, при образовании комплекса СНФИ с фХIIа взаимодействия между участками этих белков, не относящимися к петле и каталитическому центру, вносят вклад в специфичность и силу связывания. Следовательно, СНФИ — первый канонический ингибитор, петли которого недостаточно для подавления целевого фермента. При этом СНФИ-2 продолжал замедлять работу фактора XIа и трипсина, хотя константы сильно возрастали по сравнению с полноразмерным СНФИ. Значит, изолированная петля СНФИ частично сохраняет свои ингибирующие свойства и может действовать как независимый структурный элемент, способный подавлять трипсин и фХIа. Поэтому можно предположить, что пептид СНФИ-2 и при взаимодействии с фХIIа находился в активной конформации. Его неспособность «выключать» этот фактор может объясняться измененным положением расщепляемой пептидной связи в петле относительно каталитической зоны фермента. Возможно, правильное положение обеспечивается взаимодействием участков ингибитора, расположенных вне петли, и фрагментов фермента вне его каталитического центра. С этой гипотезой согласуются результаты докинга** СНФИ-2

** Докинг (англ. docking — стыковка) — метод молекулярного моделирования, предсказывающий наиболее выгодные для образования устойчивого комплекса ориентацию и положение одной молекулы относительно другой.

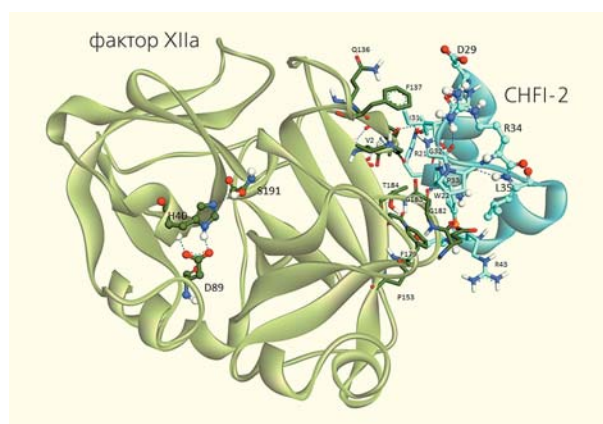


Рис.6. Комплекс изолированной петли (СНФИ-2) с фактором XIIа, полученный методом белок-белкового докинга [8]. Структура ингибитора выявлена в результате симуляции молекулярной динамики. Взаимодействующие боковые группы аминокислотных остатков протеазы (показаны зеленым цветом) и ингибитора (голубым) изображены шариками и палочками.

и фХIIа (рис.6): наиболее энергетически выгодная позиция пептида находится за пределами активного сайта модельной структуры фактора. Однако потеря ингибирующих свойств изолированной петли в отношении фХIIа может иметь и другую причину. Например, такой эффект способна частично вызвать замена цистеина-29 на аспарагиновую кислоту, а также отсутствие стабилизации, которая обычно осуществляется за счет взаимодействия петли с другими частями ингибитора.

Мы исследовали работу пяти созданных нами укороченных мутантов СНFI в сравнении с природным белком. СНFI-123, у которого разрушены четвертая и пятая дисульфидные связи и удалены соответствующие участки последовательности, хуже ингибировал фактор ХIIа, чем белок дикого типа и мутанты СНFI-1234, -2345 и -234. Вариант СНFI с разрушенной третьей дисульфидной связью (СНFI-1245) также плохо подавлял фХIIа. СНFI-1234 и -2345 «выключали» фХIIа, как полно-размерный СНFI. Это согласуется с данными о первом укороченном мутанте СНFI без 11 аминокислотных остатков с N-конца [10]. Мутант СНFI-234, в котором объединены изменения, внесенные в СНFI-1234 и -2345, почти так же, как они (и как СНFI-12345), ингибировал фХIIа и трипсин.

Из совокупности этих экспериментальных данных следует, что СНFI-234 — минимальный фрагмент СНFI, сохраняющий свои ингибирующие свойства в отношении фХIIа.

Итак, оказалось, что взаимодействия вне каталитического центра фХIIа и петли СНFI вносят вклад в силу и специфичность связывания этих белков друг с другом, поскольку изолированная петля не ингибирует фХIIа, но способна частично снижать активность других ферментов — фХIа и трипсина. Очевидно, ингибитор трипсина из кукурузы подавляет работу фактора ХIIа по стандартному механизму [11], но с обязательным привлечением некоторых участков СНFI вне петли, связывающей протеазу. Однако с трипсином и фХIа СНFI взаимодействует полностью по стандартному механизму, в котором петля играет ключевую роль. Если только сейчас выяснилось, что часто используемый ингибитор, стоящий на страже свертывания крови, работает совсем не так, как предполагалось раньше, то какие еще тайны он скрывает? Сможем ли мы раскрыть их и использовать полученные знания для диагностики, профилактики и своевременного лечения патологических состояний свертывания, покажут будущие исследования. ■

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные исследования для разработки биомедицинских технологий» и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-04-00670).

Литература

1. McMullen B.A., Fujikawa K. Amino acid sequence of the heavy chain of human alpha-factor XIIa (activated Hageman factor) // *J. Biol. Chem.* 1985. V.260. P.5328—5341.
2. Renne T., Pozgajova M., Gruner S. et al. Defective thrombus formation in mice lacking coagulation factor XII // *J. Exp. Med.* 2005. V.202. P.271—281. doi:10.1084/jem.20050664
3. Lammler B., Wuillemin W.A., Huber I. et al. Thromboembolism and bleeding tendency in congenital factor XII deficiency — a study on 74 subjects from 14 Swiss families // *Thromb. Haemost.* 1991. V.65. P.117—121.
4. Yau J.W., Liao P., Fredenburgh J.C. et al. Selective depletion of factor XI or factor XII with antisense oligonucleotides attenuates catheter thrombosis in rabbits // *Blood.* 2014. V.123. P.2102—2107. doi:10.1182/blood-2013-12-540872
5. Leung P.Y., Hurst S., Beryn-Lang M.A. et al. Inhibition of factor XII-mediated activation of factor XI provides protection against experimental acute ischemic stroke in mice // *Transl. Stroke Res.* 2012. V.3. P.381—389. doi:10.1007/s12975-012-0186-5
6. Campos I.T., Amino R., Sampaio C.A. et al. Infestin, a thrombin inhibitor presents in *Triatoma infestans* midgut, a Chagas' disease vector: gene cloning, expression and characterization of the inhibitor // *Insect Biochem. Mol. Biol.* 2002. V.32. P.991—997. doi:10.1016/S0965-1748(02)00035-8
7. Behnke C.A., Yee V.C., Trong I.L. et al. Structural determinants of the bifunctional corn Hageman factor inhibitor: x-ray crystal structure at 1.95 Å resolution // *Biochemistry.* 1998. V.37. P.15277—15288. doi:10.1021/bi9812266
8. Korneeva V.A., Trubetskoy M.M., Korsbunova A.V. et al. Interactions outside the proteinase-binding loop contribute significantly to the inhibition of activated coagulation factor XII by its canonical inhibitor from corn // *J. Biol. Chem.* 2014. V.289. P.14109—14120. doi:10.1074/jbc.M114.553735
9. McBride J.D., Watson E.M., Brauer A.B. et al. Peptide mimics of the Bowman-Birk inhibitor reactive site loop // *Biopolymers.* 2002. V.66. P.79—92. doi:10.1002/bip.10228
10. Hazegb-Azam M., Kim S.S., Masoud S. et al. The corn inhibitor of activated Hageman factor: purification and properties of two recombinant forms of the protein // *Protein Expr. Purif.* 1998. V.13. P.143—149. doi:10.1006/prep.1998.0882
11. Laskowski M.Jr., Kato I. Protein inhibitors of proteinases // *Annu. Rev. Biochem.* 1980. V.49. P.593—626. doi:10.1146/annurev.bi.49.070180.003113

«Европейский папуас», или «человек мира»: мужчина с Маркиной горы

С.В.Дробышевский

Интерпретация морфологических признаков древних людей — в своем роде искусство. Например, о чем говорят широкий нос, выступающая вперед челюсть (прогнатизм), развернутость скул вперед и небольшие размеры долихокранного черепа при повышенной массивности? Конечно же, о том, что перед нами несомненный австралоид! А если мы находим подобный экземпляр в Воронежской обл. — это следы миграции из Африки на восток! Ну заблудился человек слегка, с кем не бывает. Примерно такая картина до сих пор вырисовывалась с кроманьонцем из Костёнок XIV (с Маркиной горы).

Такой необычный скелет А.Н.Рогаев нашел еще в 1954 г. на одной из 30 стоянок, расположенных в окрестностях деревни Костёнки в Воронежской обл. (стоянка Костёнки IV). В этой поистине мировой сокровищнице культуры древних людей раскопки ведутся уже более 100 лет и конца-края открытиям не видно. Трудно сказать, чем древним охотникам нравилась именно эта точка планеты, но люди тут активно жили тысячи лет — со времен неандертальцев до наших дней. Конечно, это не значит, что население было постоянным: кто-то приходил, потом уходил, на их место заселялись новые жильцы.



Станислав Владимирович Дробышевский, кандидат биологических наук, ассистент кафедры антропологии Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, преподаватель. Область научных интересов — антропогенез, эволюция приматов, систематика ископаемых гоминид, адаптация древнейших сапиенсов к климато-географическим условиям, связь антропогенеза и культурной эволюции.

В итоге здесь сформировался уникальный археологический «пи-рог» из слоев, содержащих остатки множества разнообразных культур, а также кости животных, добытых древними охотниками. И сегодня местные жители современной деревни Костёнки часто обнаруживают следы прошлого в оврагах и собственных погребках.

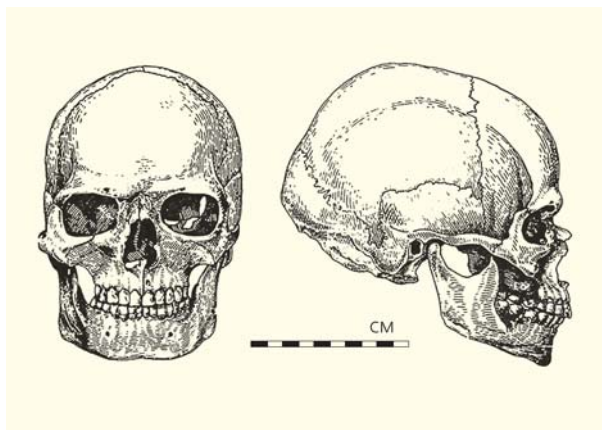
В разные годы здесь находили останки древних людей: череп пожилого мужчины в Аносовом логе, или стоянке Замятнина, фрагменты скелета взрослого человека на Тельманской стоянке, скелет младенца на стоянке Волкова, скелет ребенка в Городцовской стоянке, один зуб в Спицынской стоянке и череп ребенка в Покровском логе (стоянка Хвойко). Правда, почти во всех случаях очень плохая сохранность погребений не позволяла получить много информации.

Однако на стоянке Маркина гора было раскопано погребение идеальной сохранности, уникальное среди верхнепалеолитических. Найденный скелет лежал в узкой яме в очень сильно скорченном положении, с коленями, притянутыми к груди, а пятками — к тазу. Уложить тело так невозможно, очевидно, оно было связано или тесно спеленуто. Сверху скелет был густо посыпан яркой темно-красной охрой. В самом погребении орудий не было, но, судя по взаимному расположению слоев, погребенный человек был членом группы городцовской культуры. Погребение датировалось не раз, его возраст по последнему определению относится к 36.2—38.2 тыс. лет назад. Таким образом, экземпляр с Маркиной горы оказывается одним из древнейших *Homo sapiens* не только нашей страны, а и Европы с Азией в целом.

© Дробышевский С.В., 2015

Собственно, сам скелет тоже уникален. Во-первых, он очень маленький, но по всем главным признакам принадлежал мужчине. Для эпохи верхнего палеолита это совсем нетипично. Во-вторых, человек был молодым — 20—25 лет, но его кости очень изношены. Очевидно, жизнь у него была нелегкая, что вполне обычно для людей каменного века. С самого начала изучения было очевидно, что внешность человека с Маркиной горы резко выделяется на фоне всех кроманьонцев — древнейших сапиенсов. Оказалось, что у мужчины из-под Воронежа максимальный набор экваториальных признаков, т.е. это образцовый экваториал. Как, почему?!

Известно, что сапиенсы как вид появились в Африке, поэтому у многих верхнепалеолитических людей прослеживаются экваториальные особенности — у одного нос широкий, у другого челюсти выступают вперед, у третьего тропические пропорции рук и ног. Расселение произошло, возможно, еще около 50 тыс. лет назад или даже раньше, т.е. за много тысяч лет до большинства известных кроманьонцев Европы. В условиях сурового климата, примитивной культуры, малочисленности групп и жесточайшего отбора признаки должны были очень быстро меняться. И действительно, ни у одного европейского кроманьонца не наблюдается полного комплекса экваториальных черт. Исключение составляют два скелета негроидов из пещеры Гримальди (вблизи Монако), где, вероятно, негроидность черепов больше свя-



Череп человека с Маркиной горы. Новейшая датировка — 36.2—38.2 тыс. лет назад.

зана с реконструкцией, чем с реальностью. И вот на этом фоне мы видим человека из Маркиной горы! Его особенности уж точно не спишешь на неверную реконструкцию, ведь череп найден целым.

Более того, наш костяк не просто экваториален, а восточноэкваториален. Ведь жители Африки с одной стороны и Меланезии с Австралией с другой схожи лишь по части признаков. В строении черепа у них масса различий. И вот по этим особенностям человек с Маркиной горы ближе к папуасам, нежели к африканцам. Впрочем, в верхнем палеолите меланезийцев современного

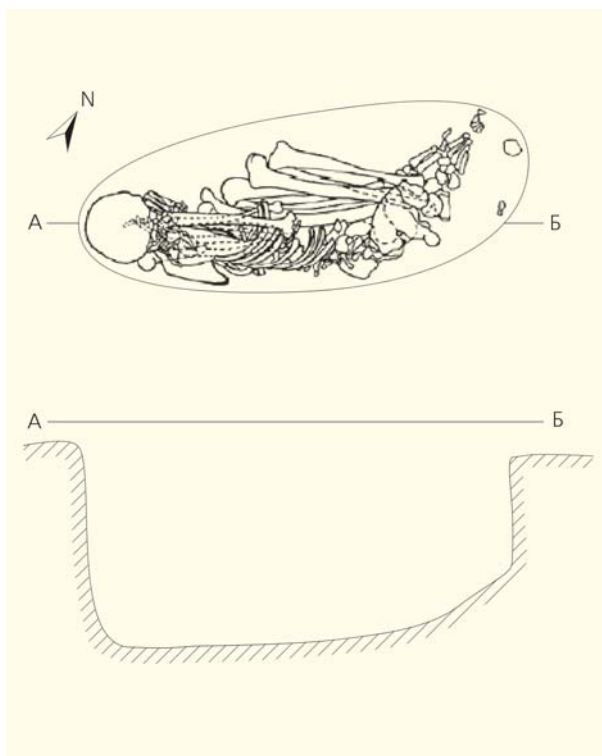
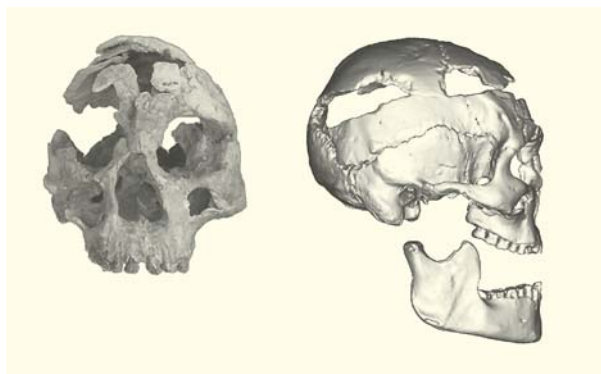


Схема погребения на стоянке Маркина гора XIV.



Череп из Хофмейра в Южной Африке (слева) и Назлет Хатера в Северной.

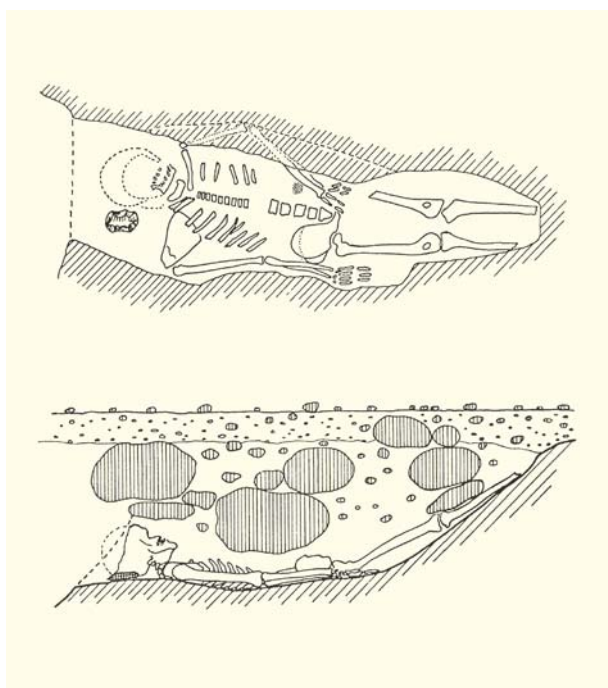


Схема погребения в Назлет Хатере. Возраст — 33 тыс лет назад.



Череп из местонахождения Таза I в Алжире (16.1 тыс. лет назад).

облика тоже не существовало. Немногочисленные находки из Меланезии и более обширные материалы из Австралии показывают, что первые жители тех краев были чрезвычайно массивными, очень крупными людьми, а современный тип папуасов сложился заметно позже.

Но и в Африке того времени негроидов в нынешнем виде не было. Череп из Хофмейра в Южной Африке (36.2 тыс. лет назад) и Назлет Хатера в Северной (33 тыс. лет назад) совсем не похожи ни на современных негров, ни на человека Маркиной горы. Где же искать родню? Ближайшим аналогом оказывается череп из местонахождения Таза I в Алжире [1, 2]. Черепу этому 16.1 тыс. лет, т.е. он вдвое моложе костёнковского. Но морфологически они действительно очень схожи: те же мелкие размеры, тот же прогнатизм, очень низкое лицо с широкими и развернутыми вперед скулами, широкий нос, низкие прямоугольные глазницы, сильно развернутые углы нижней челюсти. Крайне маловероятно, что между этими находками есть прямая связь, но их сходство лишним раз подчеркивает экваториальность человека Маркиной горы.

Выдающийся русский антрополог В.В.Бунак был склонен расценивать особенности костёнковца как подтверждение идеи о верхнепалеолитическом полиморфизме, недифференцированности расовых особенностей в эпоху верхнего палеолита [3]. Согласно этой гипотезе, в те времена нынешние расы еще не сформировались, а находились в стадии становления. Потому на отдельных верхнепалеолитических черепах мы можем встретить необычные сочетания признаков, которые могут складываться и в комплексы, схожие с современными, что не обязательно свидетельствует о родстве.

Но приходят новые времена и новые методы. В 2010 г. были опубликованы результаты исследования митохондриальной ДНК человека с Маркиной горы [4]. Его гаплогруппа U2 оказалась схожей с вариантами, распространенными на юге Европы, в частности в Италии. Впрочем, эти результаты можно интерпретировать и иначе: напри-

мер, в них вполне можно увидеть сближение Маркиной горы с жителями Северной Африки, Ближнего Востока и Северной Индии.

И вот новый шаг вперед — расшифрована ядерная ДНК останков из Костёнок XIV [5]. Выяснились любопытнейшие вещи.

Во-первых, мужчина с Маркиной горы генетически похож на верхнепалеолитического ребенка из стоянки Мальта под Иркутском, чей геном расшифровали совсем недавно [6]. Это, с одной стороны, свидетельствует о качестве расшифровки генома (были бы данные ошибочны, результаты, скорее всего, разошлись бы в случайные стороны).

Во-вторых, в масштабе современной изменчивости костёнковец занимает самое усредненное положение: в его геноме смешаны черты фактически всех современных рас. Бунак, как всегда, был прав. Человек с Маркиной горы действительно оказался настолько недифференцированным, насколько это можно представить генетически. Его экваториальные черты, приправленные немалой долей архаики, свидетельствуют о недавнем выходе из тропиков и могут расцениваться как приближенные к исходным для *H.sapiens*. Очевидно, его «экваториальность» — не конвергентного и не случайного свойства, а свидетельство единства происхождения всех человеческих рас.

В-третьих, среди генетической смеси у этого экземпляра все же преобладают гены «европейских охотников-собирателей», несколько меньше — «ближневосточных», «центральноазиатских» (судя по выборке, имелись в виду Средняя Азия, Афганистан и Пакистан) и «южноазиатских» генов.

Тут, правда, стоит оговориться, что в душе классического антрополога вскипает основательный протест против использованного в работе подразделения современных людей на основные группы. Например, иранцы отнесены к Ближнему Востоку, азербайджанские евреи и ногайцы — к Кавказу, народы Средней Азии, Афганистана и Пакистана, включая туркмен, узбеков, казахов, киргизов, уйгуров, патанов и курдов, — к Центральной Азии (а ведь курды живут западнее иранцев), тогда как Индия выделена в самостоятельную единую группу. Монголы оказались в Восточной Азии вместе с мяо, а буряты и якуты — в Сибири вместе с чукчами и кетами. С одной стороны, вроде бы и не поспоришь, строго географический подход — тоже подход, но с другой — нельзя же так откровенно игнорировать всю известную историю сложения современных народов! Благо хоть представленные графики позволяют разобратся, что на самом деле имелось в виду. А Северная Европа и Австралия вообще не представлены в выборке.

К тому же, по многим графикам, опубликованным в приложении к статье, выходит, что люди Костёнок XIV больше всего сближаются с кавказскими, среднеазиатскими или пакистанскими группами (сильнее всего — с синдхами, макрани

и брагуями, таджиками, туркменами, адыгейцами, чеченцами и ногайцами), а вовсе не с западными европейцами. Надо думать, это получилось в немалой степени из-за смешанности и сложности этногенеза упомянутых современных народов. Средняя Азия и частично Кавказ были ареной метисации монголоидных и европеоидных популяций с раннего железного века до современности, т.е. совсем недавно, и процессы эти прекрасно изучены. Стало быть, использованный в статье метод сравнения групп может быть не вполне корректен, поскольку верхнепалеолитический человек классифицируется как принадлежащий к недавно смешанным группам. Действительно, при сравнении далеко не родственных популяций метод главных компонент, использованный в работе, показывает не столь уж хорошие результаты. Очевидно, генетикам и антропологам надо еще основательно поработать над осмыслением столь сложных палеогенетических материалов.

В-четвертых, согласно анализу мтДНК, у костёнковца африканских генов немного, но еще меньше океанических, американских и восточноазиатских. Значит, более чем за десяток тысяч лет со времени выхода из Африки их экваториальность сильно уменьшилась, что, впрочем, не сказалось на внешности. Дело в том, что генетики пока не знают, как наследуются сложные признаки строения черепа. С одной стороны, это не такие уж существенные различия (даже от шимпанзе мы отличаемся на пару процентов генома), с другой — где-то же они шифруются.

В-пятых, неандертальской примеси у костёнковца оказывается закономерно больше, чем у современных неафриканцев. Это логично, ведь от метисации тогда прошло не так много времени. «Денисовской»* примеси и вовсе нет.

Из этих фактов исследователи делают более глобальные выводы.

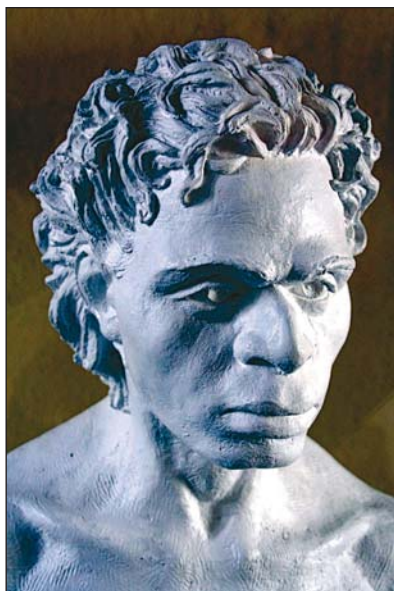
Сроки разделения «восточноазиатских» и «западноевропейских» популяций должны восходить ко времени не менее 36.2 тыс. лет назад. Вывод вполне ожидаемый, учитывая, что сапиенсы заселили Азию раньше. Это понятно и по древнейшим датировкам — более 40 тыс. лет назад для Юго-Восточной Азии (Там Па Линг) и Индонезии (пещера Ниа). В пещере Тяньянь под Пекином были найдены останки человека, жившего около 40 тыс. лет назад. Его ДНК уже отличается от «европейской», но схожа с современными «азиатскими» и «восточноэкваториальными» вариантами [7]. Географически промежуточное положение занимает сапиенс из Усть-Ишима в Омской обл. с датировкой 45 тыс. лет, чей геном, кстати, также только что расшифрован [8]. Правда, за десятки тысяч лет люди теоретически могли не раз мигрировать туда и обратно. Приятно, что данные по Марки-

* Подробнее см.: Дробышевский С.В. Маршрут длиною в ДНК // Природа. 2011. №3. С.63—66.

ной горе вписываются в общую картину и подтверждают ее.

Впрочем, вывод о невероятной глубине разделения «европейцев» и «восточноазиатов» не так уж однозначен. Действительно, «восточноазиатских» генов у человека с Маркиной горы немного, но и «европейских» у него заметно меньше 50%. Возможно, что дело здесь в генетико-автоматических эффектах. Просто от верхнего палеолита в Европе увеличивалась частота «европейских» генов, а в Азии — «азиатских». Собственно «европейскость» или «азиатскость» определяется исходя из современных групп, на последовательности нуклеотидов бирка не подвешена (а жаль!). Кажется, за недостатком древних материалов генетики пока вынуждены идти не с той стороны — от современности в древность. К тому же никто не отменял происходившего во все времена обмена генами, ведь между Европой и Дальним Востоком никогда не было непреодолимых границ.

Кроме того, современные европейцы происходят в значительной степени от «метапопуляции», расселявшейся через Европу в Центральную Азию, причем Костёнки XIV принадлежат к ней. В мезолите из исходной генетической каши в Европе выкристаллизовались и сохранились почти одни «европейские» гены (мы так называем их потому, что тут остались именно они). В неолите добавилась немалая толика (от трети до половины) генов «ближневосточных фермеров». Эти люди Ближнего Востока первыми перешли к земледелию, в результате чего резко увели-



Реконструкция по черепу человека с Маркиной горы М.М.Герасимова.

чили численность, расселившись по всей субтропической и умеренной зоне до Испании в одну сторону и до Индии в другую, частично вытеснив коренное население этих мест или смешавшись с ним.

А как же «папуасские» черты облика человека с Маркиной горы? К великой печали, с образом воронежского папуаса приходится распрощаться. Конечно, от работы генетиков строение черепа из Костёнок XIV чудесным образом не поменялось, но генетического родства с жителями Меланезии не обнаружено.

Что же, классическая антропология отправляется на свалку? Похоже, так и считают авторы генетического исследования, поскольку в огромном приложении к статье из 124 страниц антропологии посвящены

буквально три строки! Но не все так просто. Как и при сравнении с «европейцами» и «восточноазиатами», сопоставление костёнковца с сегодняшними жителями Океании может быть вполне корректным. Современные меланезийцы генетически удалены от людей с Маркиной горы. Но это может больше говорить лишь о том, что за истекшие без малого 40 тыс. лет популяции прошли бесконечное число «бутылочных горлышек» и «эффектов основателя» как в Европе, так и в Меланезии. Разобраться в перипетиях, сопровождавших сложение современных рас, может помочь дальнейшее сравнительное изучение верхнепалеолитических и современных людей — как генетически, так и морфологически. Думается, мы вступаем в новую эпоху палеоантропологии. ■

Литература

1. Medig M., Meir R., Sabnoui M. et al. Découverte d'un crâne humain dans les niveaux ibéromaurusiens de la grotte de Taza 1, Algérie // Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 1996. V.323. Sér.IIa, P.825—831.
2. Meier R.J., Sabnoui M., Medig M. et al. Human skull from the Taza locality, Jijel, Algeria // Anthropologischer Anzeiger. 2003. B.61. №2. S.129—140.
3. Бунак В.В. Череп человека и стадии его формирования у ископаемых людей и современных рас // Тр. ин-та этнографии АН СССР. Нов. сер. Т.XLIX. М., 1959.
4. Krause J., Briggs A.W., Kircher M. et al. A complete mtDNA genome of an early modern human from Kostenki, Russia // Current Biology. 2010. V.20. P.231—236.
5. Fu Q., Meyer M., Gao X. et al. DNA analysis of an early modern human from Tianyuan Cave, China // PNAS. 2013. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1221359110
6. Fu Q., Li H., Moorjani P. et al. Genome sequence of a 45,000-year-old modern human from western Siberia // Nature. 2014. V.514. P.445—450.
7. Raghavan M., Skoglund P., Graf K.E. et al. Upper Palaeolithic Siberian genome reveals dual ancestry of Native Americans // Nature. 2014. V.505. P.87—91.
8. Seguin-Orlando A., Korneliussen Th.S., Sikora M. et al. Genomic structure in Europeans dating back at least 36,200 years // Scienceexpress. 6 November 2014. P.1—9.

Кочевой мир Евразии: номады Запада в конце бронзового века

Е.Н.Черных

Истинным апогеем эпохи раннего металла, речь о которой шла в предыдущей статье*, стал ее заключительный период — поздний бронзовый век. Фантастический по мощности рывок распространения по континенту металлоносных культур во 2-м тысячелетии до н.э. кардинально отразился на судьбе большинства социальных объединений материка [1, 2]. Распалась коронная в Евразии и функционировавшая в 4-м и 5-м тысячелетиях до н.э. система Циркумпонтийской металлургической провинции (ЦМП). Технологический взрыв привел к формированию нескольких новых и весьма различающихся между собой культурно-технологических систем, или металлургических провинций, охвативших пространство от Атлантики до Тихого океана.

В западной части Евразии были сосредоточены производственные центры пяти провинций, которые интересуют нас в первую очередь. Материалы каждой из них отражали — хотя и в весьма неодинаковой мере — воздействие и наследие стандартов производства канувшей в небытие ЦМП. По территориальному охвату новые системы ока-

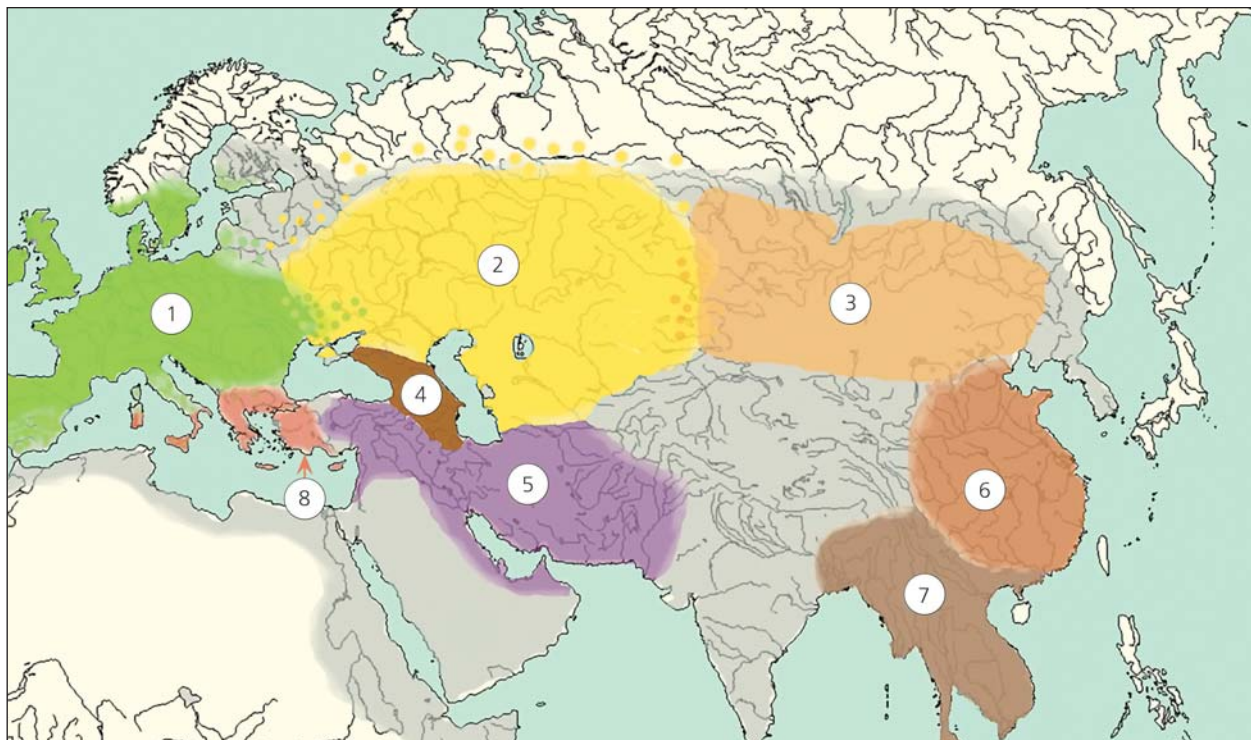


Евгений Николаевич Черных, доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий лабораторией естественно-научных методов Института археологии РАН. Область научных интересов — история технологий и структура древних культур и общностей Евразии.

зались чрезвычайно различными. Самые малые в их ряду — Кавказская и Эгейская провинции (примерно по 0.5—0.6 млн км²). За ними следуют Ирано-Анатолийская (2.2—2.5 млн км²) и Европейская (3.5—4.0 млн км²). И наконец, площадь Западноазиатской провинции — самой обширной среди всех, включая провинции на восточной половине материка, — достигала 6 (а возможно, и 7) млн км².

В период своего территориального максимума Западноазиатская металлургическая провинция (ЗАМП) полностью перекрывала западную половину Степного пояса Евразии — а это не менее 4.0—4.5 млн км². Ее производственные очаги распространились также на примыкающие с севера к Степному поясу ареалы лесных культур охотников и рыболовов, что добавляло к ее основной площади примерно 1.5—2.0 млн км². Фактически вся история номадов евразийского Запада в финале эпохи раннего металла оказалась тесно сопряженной именно с ЗАМП. Календарная протяженность функционирования производящих очагов этой провинции укладывается преимущественно в рамки 2-го тысячелетия до н.э. Замечу при этом, что протяженность ее временной дистанции оказалась в два раза короче по сравнению с ее безусловной «прародительницей» — провинцией Циркумпонтийской. В приблизительно тысячелетней истории ЗАМП различаются три основные этапа или периода, характер культур и их деяний на каждом из которых заметно различались. Кроме того, провинция эта удивляет исследователей не только неохватной громадой своих территорий, но и рядом весьма странных и труднообъяснимых феноменов парадоксального характера. Однако начнем с выделения основных этапов в развитии ЗАМП.

* Кочевой мир Евразии: номады Запада на заре эпохи металлов // Природа. 2015. №1. С.28—41.



Металлургические провинции Евразии в позднем бронзовом веке: 1 — Европейская, 2 — Западноазиатская, 3 — Восточноазиатская степная, 4 — Кавказская, 5 — Ирано-Анатолийская, 6 — Древнекитайская, 7 — Индокитайская, 8 — Восточно-Средиземноморская (Эгейская). Серым цветом показаны территории с неопределенным отношением металлической продукции к какой-либо из провинций, точками — неясные границы между соседними провинциями или лесными культурами.

ЗАМП: этап первый

Важнейшие черты первого этапа позволяют видеть в нем изначальный импульс, обозначивший главное направление миграций скотоводческих культур, не столь давно входивших в северный блок ЦМП [1]. Два финальных столетия 3-го и ранние века 2-го тысячелетия до н.э. обозначили старт устремлений в восточном направлении тех *полуоседлых* пастушеских популяций, что расселялись преимущественно по северным лесостепным окраинам Степного пояса. Пионером ранних миграций в рамках ЗАМП стала культура, именуемая *абашевской*. Ее племена от бассейнов верхнего Дона и Среднего Поволжья продвинулись до Южного Урала и даже восточнее, преодолев не слишком трудные перевалы невысокой уральской горной системы. Ее родственник восточный и именуемый *синташтинским* культурный вариант охватил верховья бассейна р.Урал, а суммарно намеченную общность этих культур часто именуют *абашево-синташтинской*. Впрочем, и в южном Зауралье мигранты не задержались, а наиболее активные их кланы появились в бассейне среднего Иртыша. Там находят самые восточные следы этой общности — небогатые поселения и кладбища, объединяемые уже в *петровскую* культуру. В чем-то культуры повторяли путь ис-

тинных номадов предшествующего тысячелетия, сумевших, однако, продвинуться существенно восточнее и пересечь знаковую грань Джунгарских ворот.

Ранние мигранты ЗАМП обозначили для нас удивительно узкий и длинный (примерно в 2,5 тыс. км по прямой линии) территориальный «язык» их продвижений, общая площадь которого достигала 1,0–1,2 млн км². На этом вытянутом с запада на восток «языке» встречались относительно небольшие поселки, окруженные порой невысокими земляными валами, и такие селища отражали господство полуоседлого характера пастушеских кланов. Кладбища представляли собой либо бескурганые погребения людей в могильных ямах, либо надмогильные курганные насыпи, но уже не столь выразительные в сравнении с некрополями предшествующей ЦМП (хотя встречались и яркие отклонения).

Так, уже более 50 лет специалисты — не только археологи, но и палеоантропологи — уделяют пристальное внимание раскопанному еще в 1960 г. и уникальному по форме и характеру погребений кургану *абашевской* культуры у с.Пепкино, близ г.Козьмодемьянска в Верхнем Поволжье [3–5]. Земляная насыпь кургана имела овальную форму и размер 14×12 м при высоте около 1,4 м. Под курганной насыпью в яме (12×2,5–3 м) археологи

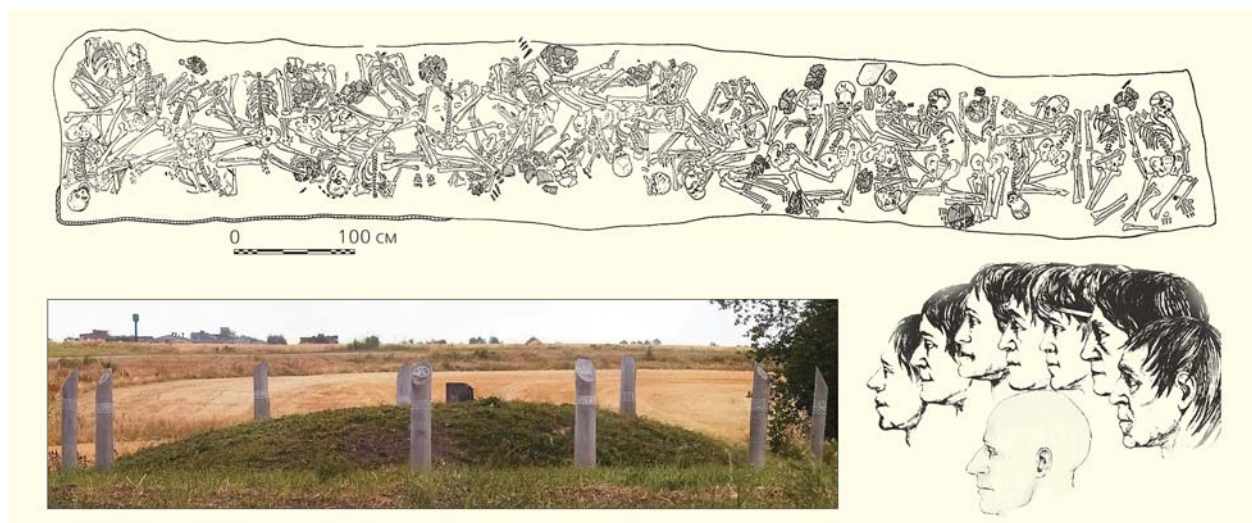


Две встречные волны распространения носителей новых технологий в Северной Евразии в конце 3-го и начале 2-го тысячелетия до н.э. С запада на восток (в Сибирь) проникали наследники культур распавшейся Циркумпонтийской провинции — носители абашево-синташтинской культуры. Из центра Азии на запад стремительно продвигались конные группы, олицетворявшие сеймско-турбинский транскультурный феномен.

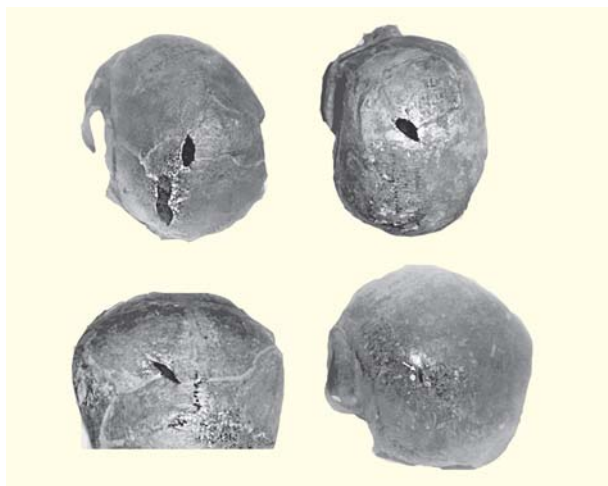
вскрыли останки 27 или 28 молодых мужчин. Каждый из них имел более или менее явные метки смертельных травм: кремневые наконечники находились либо в области грудной клетки, либо даже на черепе. У 11 костяков черепа отсутствовали вовсе, а у других семи отрубленная голова была представлена к туловищу уже в могиле. Особое внимание исследователи уделили останкам кузнеца-литейщика, профессию которого выдавали литейная

форма для топора, а также наковальня и тигель. Его инвентарь, как и множество иных находок, не оставляют сомнений, что мастера горно-металлургического производства следовали здесь стандартам еще совсем недавно господствовавших в степях Восточной Европы металлургических и металлообрабатывающих очагов ЦМП.

По мнению палеоантропологов, в погребальной яме оказалась не просто группа трагически



Курган абашевской культуры у с.Пепкино близ г.Козьмодемьянска на Верхней Волге (слева внизу — реконструкция надмогильной насыпи). Под курганом в длинной могильной яме были погребены 28 человек (вверху). По мнению палеоантропологов, это трагически погибшие молодые мужчины европеоидного облика (справа). Особое внимание исследователи уделили останкам кузнеца-литейщика (справа внизу), профессию которого выдавали сопровождавшие захоронение инструменты: литейная форма для топора, наковальня и тигель.



Черепы покойников из Пепкинского кургана сохранили следы смертельных травм.

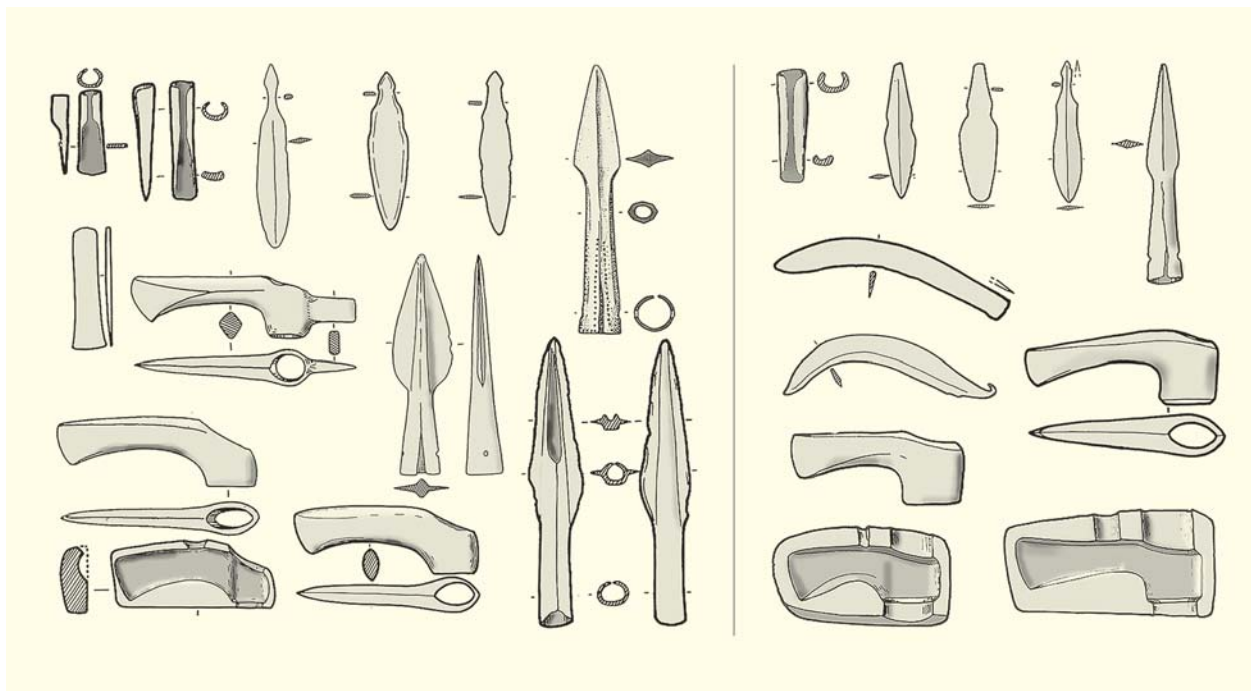
погибших активных молодых мужчин европеоидного облика, где самому младшему было примерно 15–19, а большинству — от 20 до 25 лет. Скорее всего, эти молодые люди были членами одного так называемого «мужского дома» некоего племени, правда, с пока неясной для нас степенью взаимного родства. Любопытными оказались и другие наблюдения. Выяснилось, что на костных останках сохранились следы не только смертельных травм, но также весьма странных —

«постсмертных», ритуальных и загадочных для нас манипуляций с телами покойных перед их погребением. Палеоантропологи фиксируют трепанацию черепов, скальпирование, удаление крупных фрагментов свода черепа, разрушение целостности костей конечностей и др.

Однако еще более любопытным станет даже весьма беглый взгляд на феномен соседей этого трагично завершившего свой недолгий жизненный путь молодежного отряда. Они представляли собой встречную и весьма чуждую здесь волну воинственных мигрантов с Востока.

Встречная волна с Востока

Эта волна едва ли не по всем признакам оказалась поразительно контрастной с волной западной и была нацелена уже целиком на запад. Восточные группы воинственных мигрантов представляли одно из самых интересных и загадочных явлений в ранней евразийской истории — так называемый *сейминско-турбинский транскультурный феномен* [1]. Он удивлял всех — не только специалистов, но и непрофессиональных наблюдателей — великолепными формами своего металлического оружия и иных отливок. Различия прежде всего выразились в полном несхождении как морфологии бронзовых артефактов у носителей встречных миграционных волн, так и технологических методов их производства. Поражало превосходство техно-



Медные и бронзовые орудия и оружие, глиняная литейная форма из погребений и поселений абашево-синташтинской (слева) и срубно-андроновской (справа) общностей. Формы изделий четко выдают их исходные корни в очагах Циркум-понтийской металлургической провинции.



Сейминско-турбинский транскультурный феномен. Типичные бронзовые топоры-кельты (слева) и наконечники копий (слева направо: Молдова, бассейн Иртыша, северо-западный Китай), разительно отличающиеся по морфологии от абашево-синташтинских металлических изделий.

логий металлообработки, заключавшееся в использовании тонкостенного литья оружия — длинных наконечников копий и так называемых топоров-кельтов. Или же то были длинные и изящные по форме однолезвийные ножи-кинжалы с фигурными навершиями. Оказалось, что имевшие гораздо более давнюю и восходящую к циркумпонтийским стандартам историю развития металлургического производства абашево-синташтинские популяции резко уступали восточным неопитам в этом сложном деле. Мы именуем их неопитами, поскольку никаких явных следов предшествовавшего и соответствовавшего сейминско-турбинским образцам развития горно-металлургического производства в предполагаемом регионе их зарождения нам не известно. В этом случае появление сейминско-турбинского феномена можно объяснить моделью технологического взрыва, по многим чертам похожего на неожиданные взлеты производств в Балкано-Карпатской или Прото-Циркумпонтийской провинции.

Своеобразные и совершенно непохожие на обычные западные некрополи сейминско-турбинские памятники в громадном большинстве случаев останков человека не содержали. И эти так называемые *жертвенники-мемориалы* протянулись

узкой (в 5 тыс. км) полосой по зонам лесостепи и юга лесной полосы от предполагаемого исходного центра в Синьцзяне вплоть до восточной Балтики и даже до Молдовы. На этих жертвенниках-мемориалах обильные металлические и кремневые изделия залежали сравнительно неглубоко под почвой отдельными группами. Однако среди них не встречалось глиняной посуды (которая для западной традиции погребальных обрядов была



Сейминско-турбинский феномен. Уникальные отливки из бронзы и меди. Слева — нож-кинжал с фигурным навершием в виде конного лыжника с отчетливым лицом монголоида (с.Ростовка на р.Омь близ ее впадения в Иртыш), справа — маска и фигурка шамана с побережья Галичского озера (Верхнее Поволжье).



Сейминско-турбинский феномен, жертвенник-мемориал Шайтанка. Мелкий раскоп почти сразу же упирался в каменные глыбы, между которыми и залежали отдельные предметы или их группы — к примеру, бронзовые нож и лежащий поверх него топор-кельт.

ведущей по массовости категорией могильного инвентаря), а также никаких иных свидетельств постоянного обитания в виде следов человеческих поселений.

Одним из наиболее ярких комплексов сейминско-турбинского феномена послужил мемориал-могилище Ростовка, обнаруженный на р.Омь недалеко от ее впадения в Иртыш. Среди великолепных изделий этого памятника особое место занимает крупный нож-кинжал с литым фигурным навершием. На нем изображен лыжник, зацепившийся длинной веревкой за лошадь. Лицо мужчины выдает его безусловную принадлежность к монголоидам. По всей вероятности, связь носителей культуры с этой восточной расой демонстрируют также медные фигуры и маски шаманов. Они обнаружены также в комплексе сейминско-турбинского феномена, но уже очень далеко на западе — на берегу Галичского озера, в Верхнем Поволжье. Скорее всего, мы не ошибемся в предположении, что «титупной расой» этих мигрантов были монголоиды.

И еще об одном, но также примечательном: носители сейминско-турбинских волн на фоне встречной западной волны мигрантов выглядели несравненно более толерантными. Среди комплексов или групп металла на мемориалах сейминско-турбинского облика встречаются безусловно абашево-синташтинские, принадлежавшие западным инкорпорантам. Там выявляют небольшие скопления находок — типичные по металлическим формам и даже с редкими глиняными горшками этих западных культур, но уже без останков человека, чего требовал восточный сейминско-турбинский ритуал. К западу от Урала медь изделий в этих мемориалах все чаще и чаще отличается от исходных — кстати, высококачественных —

бронз синьцзян-алтайских химических групп — и соответствует в технологическом плане уже не столь «продвинутым» местным абашево-синташтинским металлургическим комплексам. Западные же абашево-синташтинские мигранты от своих встречных сейминско-турбинских соседей-«недрузгов» (?) не заимствуют ничего, хотя разница в уровне технологии металлургических методов предстает достаточно очевидной.

Маршруты сейминско-турбинских передвижений пролегали севернее абашево-синташтинских и совпадали по преимуществу уже с зоной лесных культур. Встречные волны сталкивались между собой, и вряд ли все их контакты отличались дружелюбием. Предполагаемая же толерантность восточных воинственных мигрантов могла вовсе не исключать жестокости (*если враг не сдастся, его уничтожат*). Поэтому вполне возможно, что коллективная могила 28 молодых мужчин под Пепкинским курганом стала печальным следствием подобного рода встреч, тем более что ближайший из сейминско-турбинских жертвенников мемориалов — Юрино — находится всего в 15 км к северо-западу от этого кургана, на мысу у самого впадения Ветлуги в Волгу. Правда, предполагать такой вариант можно, но доказывать его непросто.

Сейминско-турбинский феномен стал первым в стремительных проникновениях восточных кочевников на запад. Затем последовал долгий временной разрыв — в 3—3.5 тыс. лет — между следующими тремя всепокрывающими восточными волнами или же так называемым *тысячелетием Востока*. Однако более подробная речь о них, равно как и о типичных «родовых» чертах восточных кочевых волн, пойдет уже в пятой части предлагаемого читателю общего обзора кочевого мира Евразии.

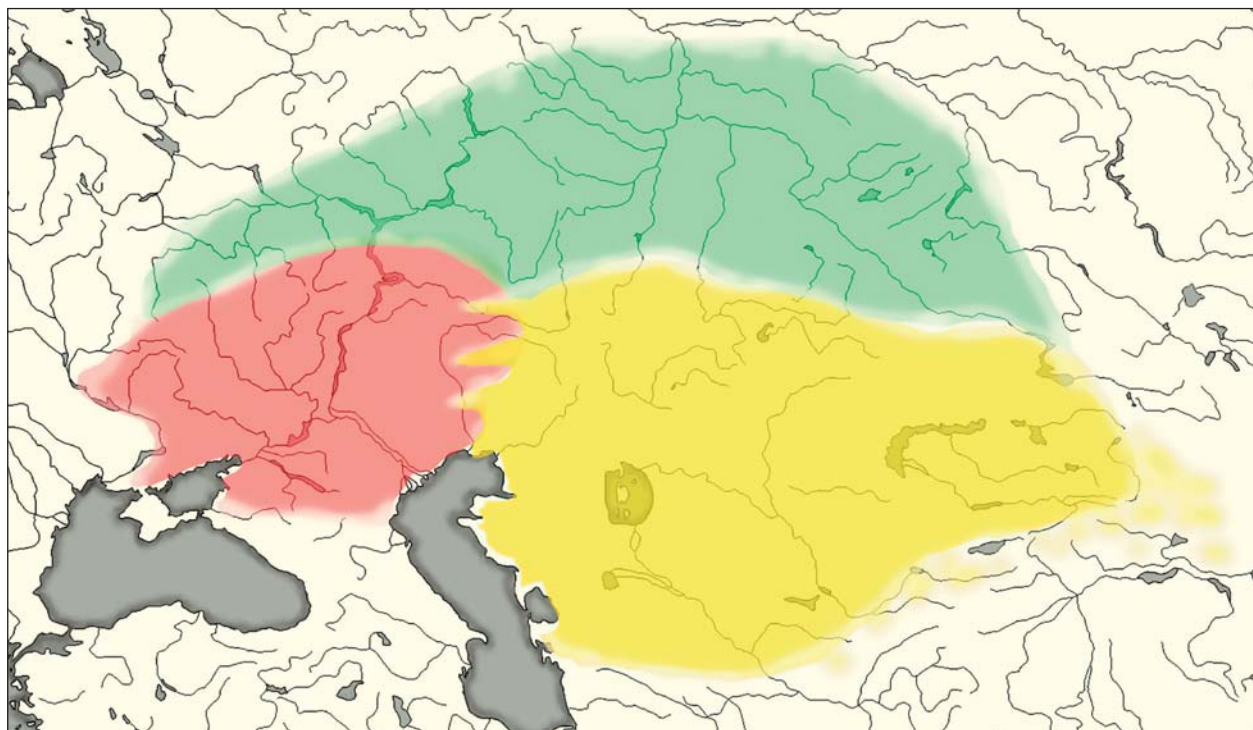
ЗАМП: этап второй

Второй этап развития ЗАМП стал фазой ее территориального максимума и очевидной структурной стабильности [1]. Сравнительно плавный переход от ранней стадии к последующей протекал в рамках XIX—XVII вв. до н.э., а сам период завершился в пределах XIV—XIII вв. до н.э. Коронными в границах ЗАМП тогда были две громадные археологические общности — *срубная* и *андроновская*. Блок культур *срубного* типа покрывал на просторах Степного пояса от Поднепровья до Южного Урала не менее 1.5—1.8 млн км². К востоку, от Урала до Алтая, а также от лесостепи Западной Сибири вплоть до пустынных предгорий Копетдага было рассредоточено великое множество бытовых и погребальных памятников ряда родственных культур, составлявших блок гигантской *андроновской* общности. Ее пространственный охват был заметно шире и равнялся примерно 2.5—3.0 млн км².

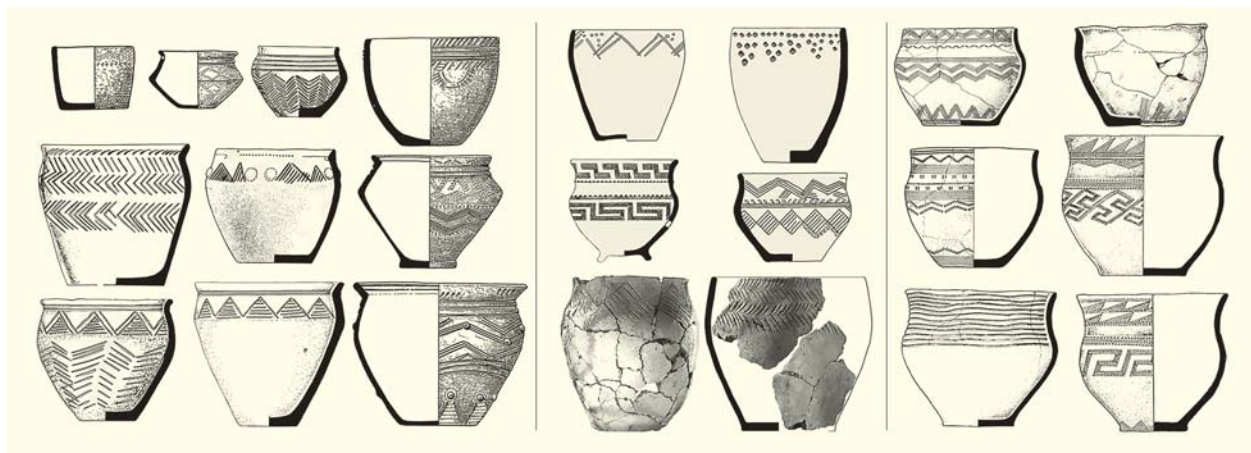
Кардинальной переменной, при этом сопряженной с обеими ранними фазами развития ЗАМП, стала фактическая утрата степными культурами статуса кочевых. С самого начала 2-го тысячелетия до н.э. для обозначения характера скотоводческих культур этих народов гораздо более точным будет, пожалуй, термин *полукочевые* или *полуоседлые*. Кроме того, облик полукочевых общностей на второй фазе оказался, по-видимому, вы-

раженным гораздо более отчетливо, нежели на ранней стадии. Поселки пастухов малы, и их площадь очень редко превышает 1—2 га. Руины таких становищ весьма отличны от мощных и чаще всего огромных стационарных поселений оседлых земледельцев южных доменов. Однако основой для изучения фазы стабилизации ЗАМП остаются по-прежнему погребальные памятники — по преимуществу бескурганые некрополи.

Черты всех этих культур и общностей западной половины Степного пояса Евразии оказались достаточно близкими. По этой причине возможно говорить о громадной *срубно-андроновской* мегаобщности, охватившей необозримые пространства западной половины Степного пояса — вплоть до 4—4.5 млн км². Кроме того, далеко не всегда удастся надежно наметить разделительную грань между предшествующими по времени памятниками *абашево-синташтинской* общности и более поздними *срубно-андроновской*: по ряду важнейших деталей они выглядят весьма сходными, что заметно, например, по относительно близким формам металла и керамики. Судя по всему, вторая волна распространения западных культур, связанная с зарождением срубно-андроновских реалий, поглотила и ассимилировала абашево-синташтинскую общность. Помимо этого, волна второй фазы продвинулась существенно дальше на восток, преодолев символическую грань Джунгарских ворот и объявившись уже в Синьцзяне.



Период стабилизации Западноазиатской металлургической провинции. Красным цветом показан ареал памятников срубной археологической общности, желтым — общности андроновской. Зеленым цветом обозначена зона примыкающих к ним с севера лесных срубноидных и андронидных культур, близких по облику к степным и, видимо, во многом зависимых от них.



Образцы глиняной посуды в комплексах абашево-синташтинской (слева), срубной (в центре) и андроновской (справа) археологических общностей. Морфология горшков и их орнаментация представляются весьма сходными.

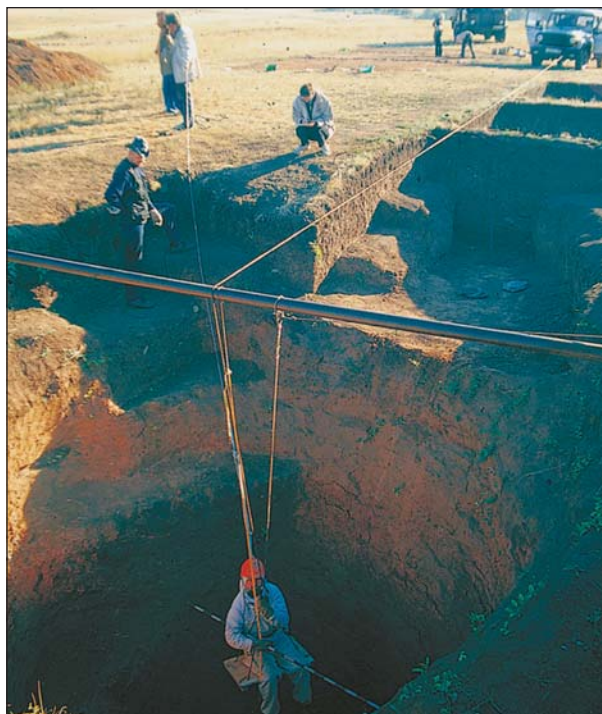
Как территориальные, так и хронологические границы между культурами всех перечисленных блоков общности срубно-андроновского типа в большинстве случаев выглядят туманными и не вполне определенными. Причины этого восходят, по всей вероятности, к бесконечно подвижному характеру степных скотоводов, к постоянному культурному и одновременно активному — уже чисто биологическому — смешению и «скрещиванию» различных родственных этносов. К тому же здесь имела место примечательная толерантность, присущая, кажется, степным этнокультурным группам в отношении внешних проявлений культуры у родственных им объединений. Возникают явные черты так называемого *синдрома культурной непрерывности*, когда исследователям крайне сложно бывает прочертить надежные горизонтальные (пространственные) и вертикальные (хронологические) границы каждой культуры или общности — их грани очень часто выглядят весьма расплывчатыми.

Пожалуй, именно для второй фазы выявилась в качестве характерной еще одна чрезвычайно странная для степных скотоводческих культур черта. Основные каналы их связей устремились тогда на север, в лесные и по обыкновению малопривлекательные для пастушеских племен ареалы. В то время по южной полосе таежно-лесной зоны Евразии возникает целая цепь новых культурных клонов срубно-андроновского степного мира. Блоки этих лесных культур археологи весьма нередко объединяют, присваивая им выразительные наименования *срубоидных* или же *андроноидных* и подчеркивая тем самым их близость и зависимость от «старших степных родственников». И в этом случае почти всегда на фоне синдрома культурной непрерывности археологи различных направлений довольно безуспешно сражаются между собой в попытках определения четких пространственных и хронологических гра-

ниц между степной основой и их лесными клонами, равно как и внутри блоков этих лесных порождений степных общностей. Именно и прежде всего за счет этого «размытого выхода» в лесную зону Евразии генеральный охват провинции достиг своего огромного значения в 6–7 млн км².

Наверное, самым ярким из всех достижений степных полукочевых народов в рамках ЗАМП можно считать экономическое обособление, приведшее к их очевидной независимости от культур южных доменов. Наиболее выразительно это сказалось на примере горно-металлургического производства. Если с первой волной *абашево-синташтинских* племен связано начало эксплуатации некоторых зауральских полиметаллических месторождений, то вторая волна привела к открытию огромного числа медных и даже оловорудных месторождений по всем регионам от Южного Урала до Казахстана, Средней Азии и Алтая. Безусловно немаловажными стали способность опознавать и находить на Рудном Алтае оловорудные минералы (касситериты) и умение их использовать для выплавки высококачественных оловянных бронз.

В этой цепи постижений, безусловно, самым ярким и полнее всего обследованным комплексом, как и в предшествующее 3-е тысячелетие до н.э., вновь оказался Каргалинский горно-металлургический центр на базе месторождений медистых песчаников Южного Урала. Этот богатейший производственный комплекс забыли и покинули во второй половине 3-го тысячелетия его первооткрыватели — горняки и металлурги *ямной* общности. Однако примерно через 500–600 лет на этих необычайно богатых медными минералами холмах и увалах вновь появились группы профессионалов горнорудного и металлургического дела. Однако связаны они были уже целиком со средой культур *срубной* общности. В результате их удивительной активности пространство Каргалов площадью приблизительно 500 км² оказалось



Каргалинский горно-металлургический центр. Здесь на площади всего рудного поля, равной примерно 500 км², удалось зафиксировать до 35 тыс. поверхностных следов засыпанных или оплывших шахт, карьеров и штолен. На снимке с вертолета (слева) виден незначительный участок Каргалинского рудного поля, где заметно всего лишь до двух сотен провалов рудных выработок, связанных по преимуществу с разведывательными и рудоизвозными шахтами 2-го тысячелетия до н.э. После расчистки таких провалов исследователи спускаются в древние шахты для их обмеров и изучения (справа).

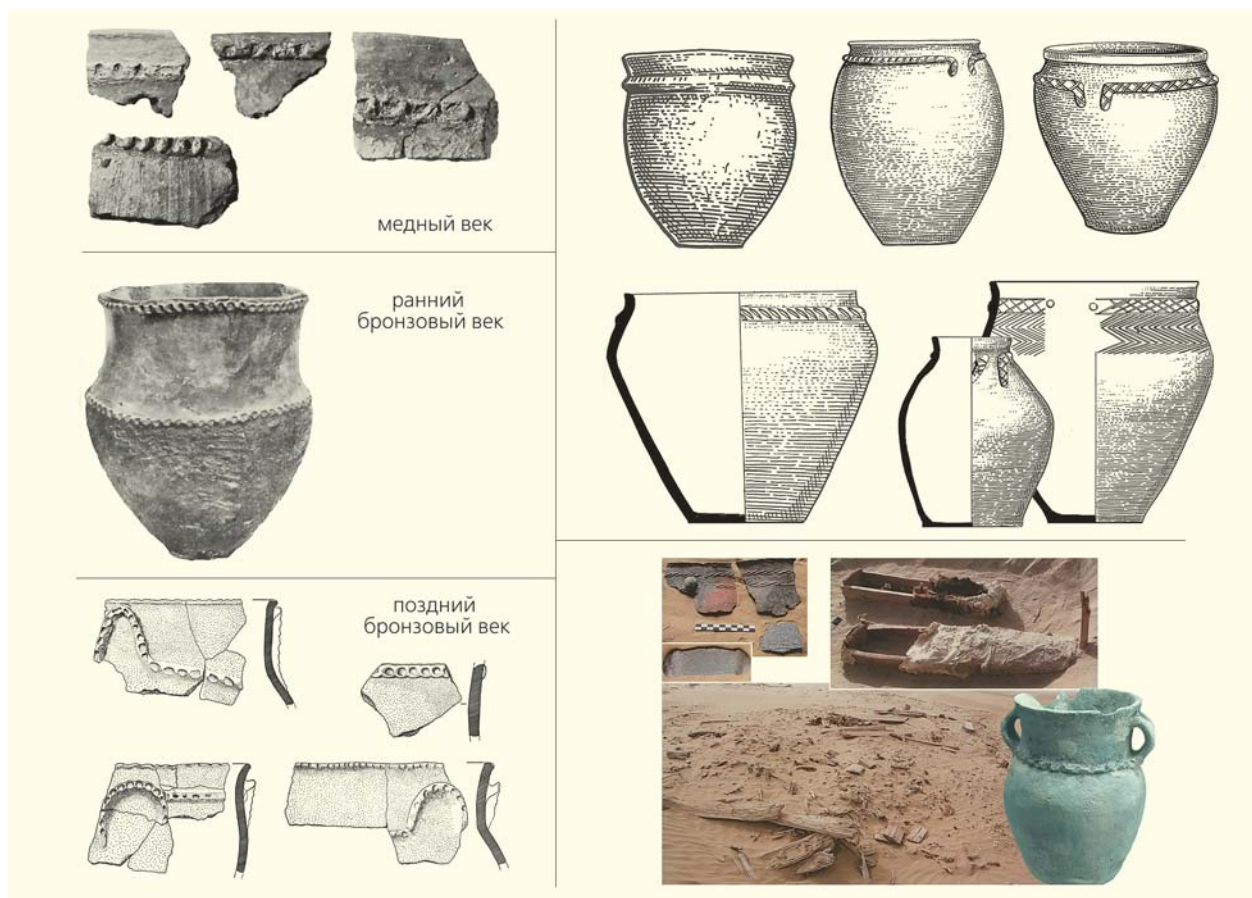
усеянным яркими следами более чем 30 тыс. поисковых и рудоизвозных шахт, штолен и больших карьеров. Общий объем извлеченных минералов оказался не менее 2.5—3 млн т. Из этой руды металлургами Каргалов, а также теми мастерами *срубной* общности, кто пользовался рудой, но уже за пределами Каргалов, было выплавлено не менее 60 тыс. т (!) меди.

ЗАМП: этап третий

С XIV—XIII вв. до н.э. начинается третья, финальная стадия истории ЗАМП [1]. Если ограничиться лишь одним беглым взглядом на облик тех культур и общностей, что составляли ядро этой системы, может показаться, что на финальной стадии никаких особых перемен не происходило. Однако это не так, хотя внешние признаки перемен выглядели не столь впечатляюще. Основным знаком для вычленения материалов третьей фазы в массе степных культур стал исключительно поверхностно-декоративный признак на глиняной посуде: от четверти до половины керамических сосудов украшалось так называемым *налепным валиком* по венчику, шейке или плечикам горшка. Выяснилось, что этот орнаментальный элемент характерен для глиняной керамики, распростра-

ненной по невообразимо широким пространствам, и связан с самыми разнообразными культурами от Подунавья и Балкано-Карпатья на крайнем западе до Джунгарских ворот, Синьцзяна и пустыни Такла-Макан на востоке. Базой подобного типа керамики в Степном поясе служила, конечно, посуда предшествующего *срубно-андроновского* мира. Однако за пределами пояса исходным ареалом орнаментальной моды и традиции *валикового* декора на глиняных сосудах стало, без сомнения, Балкано-Карпатья. Именно там, начиная по крайней мере с медного века, то есть с 5-го тысячелетия до н.э. (!) и без заметного перерыва, вплоть до железного века, значимая доля так называемой кухонной, относительно грубой по исполнению керамики украшалась именно налепными валиками. К третьей четверти 2-го тысячелетия представительные серии *валиковой керамики* находят уже в материалах Степного пояса. Эта керамика стала основой для выделения здесь огромной общности *культур с валиковой керамикой*, сменившей общность срубно-андроновскую.

Однако этот внешне малозначимый признак словно обращал внимание исследователей на чрезвычайно существенные сдвиги в структуре провинции. К примеру, детальное сопоставление с предшествующей фазой, когда поселки срубно-андроновской общности исчислялись тысячами,



Типичная глиняная посуда общности культур с валиковой керамикой (налепные валики украшали сосуд по венчику, горлу или плечикам) из Северных Балкан и Подунавья (слева), Степного пояса Евразии в рамках Западноазиатской провинции (справа вверху) и Синьцзяна (справа внизу).

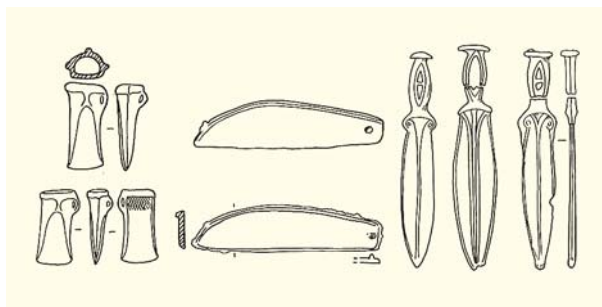
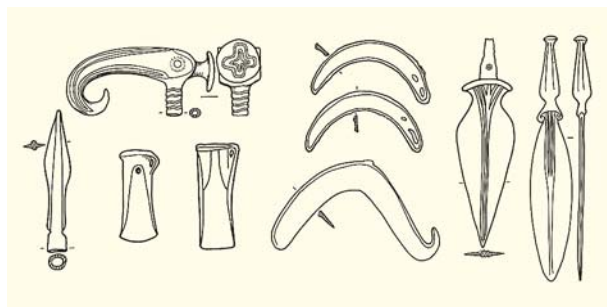
показало, что количество поселений финального периода резко сокращается. В этом отразилась явная тенденция перехода населения от полукочевого к полностью кочевому образу жизни. Бросалось в глаза также отсутствие «смены» так называемым *срубоидным* и *андроноидным* культурам южной полосы таежно-лесной евразийской зоны, характерным для фазы стабилизации. Это говорит о резком ослаблении контактов между степными и лесными популяциями. По всей видимости, именно это стало также основной причиной резкого сокращения общего пространственного ареала ЗАМП.

Тогда же становится очевидной чрезвычайная размытость граней между Западноазиатской и Европейской металлургическими провинциями. Разделительные линии этих систем не только теряют былую четкость, но и заметно сдвигаются к востоку, в район современной Левобережной Украины. Весьма заметными предстают перемены на металлургическом и металлообрабатывающем производствах. На прежние «циркумпонтийские» стандарты как бы наслаиваются чуждые им новые — западные формы, восходящие к горно-ме-

таллургическим центрам чрезвычайно яркой и своеобразной Европейской металлургической провинции. Определенное отражение западного импульса нетрудно продемонстрировать, к примеру, на самом крупном комплексе металла — кладе литейщика из Сосновой Мазы на Нижней Волге. Все 62 изделия его коллекции оказались отлитыми из меди с очень высокой примесью железа, что было чрезвычайно характерным для ряда горно-металлургических центров Трансильвании. От этих центров нижеволжских мастеров-литейщиков отделяли не менее 2 тыс. км, в то время как дистанция между этим кладом из Поволжья и богатыми рудами Каргалов была в три раза короче. Однако металл доставили сюда с далекого запада.

Столь же расплывчатыми выглядят на финальной фазе и восточные границы между двумя соседними степными провинциями — Западноазиатской и Восточноазиатской. Многие бронзовые изделия восточных очагов проникают вплоть до Центрального Казахстана. Тем самым ЗАМП во многом утрачивает свои исходные характер и облик.

По всей вероятности, именно отчетливо проявляющаяся переориентация генеральных связей



Финальная стадия развития Западноазиатской провинции. Бронзовая и медная продукция, несущая отчетливые следы воздействий металлургических центров западной части Европейской провинции на восточные степные очаги. Справа — изделия вкладах с территории Молдовы и Западной Украины, слева — клад литейщика из Сосновой Мазы на Нижней Волге.

на финальной стадии развития ЗАМП была обусловлена одним из самых загадочных и парадоксальных событий в истории номадов Западной Евразии, и речь об этом пойдет в следующем разделе.

Парадоксы металлургических феноменов

Наверное, самым примечательным и труднообъяснимым парадоксом в развитии и функционировании культур на третьем этапе истории ЗАМП стал их фактически полный отказ от горно-металлургического производства на гигантских пространствах от Южного Урала до Алтая. А ведь именно на этих степных просторах, а также в горах Рудного Алтая мастера срубно-андроновской общности сумели разведать сотни больших и малых месторождений медной и оловянной руд и начать их эксплуатацию. Но вдруг там наступает полная «тишина». Возможно ли уяснить причины столь неожиданного ухода, например, каргалинских мастеров с этих заповедных для них рудоносных территорий? И почему все бесчисленные шахты и рудные богатства оказались вдруг ненужными? Во 2-м тысячелетии производство в рамках провинции оказалось отрезанным от южных источников металла, доселе традиционных для степных народов.

Распад ЦМП привел к тому, что каноны ее производства в той или иной мере нашли отражение в металлургии всех провинций западной половины Евразии. Правда, в характере производственных стандартов этих систем наряду с некоторыми элементами наследия ЦМП доминировал акцент отнюдь не наследия, а даже отвержения прежних традиционных приемов металлообработки. И в то же время яркие инновации их производства занимали все места переднего плана. Однако крайне любопытно при этом, что в ряду упомянутых систем заметное исключение представляла ЗАМП: в ее очагах и центрах бывшие стандарты производства ЦМП продолжали доминировать.

Ситуация с приверженностью мастеров ЗАМП отошедшим в прошлое металлургическим моделям ЦМП выглядит особенно парадоксальной на фоне

едва ли не полного их отвержения производственными центрами, скажем, соседней Кавказской провинции. В комплексах этой примыкающей к ЗАМП с юга системы (кстати, одной из самых территориально незначительных, но с бронзами, поражающими своим неповторимым великолепием) отразился весьма отчетливый отказ от своего циркумпонтийского прошлого. Это кажется тем более примечательным, поскольку в предшествующем периоде эпохи средней бронзы 3-го тысячелетия до н.э. именно на Южном Кавказе были сосредоточены одни из самых активных центров огромной ЦМП. Напомним также, что в предшествующие два тысячелетия Кавказ служил наиболее эффективным и постоянно действующим «мостом» между двумя весьма контрастными, но тесно взаимосвязанными доменами: южным (оседло-земледельческих культур) и северным (мобильных скотоводческих общностей). Через кавказские хребты и главным образом через прижатые к Западному Прикаспию «Дербентские ворота» на Север к пастушеским народам попадала великая масса металла — прежде всего, мышьяковых бронз.

Парадокс с малопонятным отказом от собственного горно-металлургического производства становится еще более выразительным, если учесть, что с момента зарождения ЗАМП кавказский «металлургический мост» между доменом оседло-земледельческих культур Юга и пастушеских народов Севера полностью пресекался. Степные культуры западной половины Евразии перешли на самообеспечение. Стал ли такой переход собственным решением степняков? Или же они, скажем, были вынуждены подчиниться самоизоляции Кавказа? А ведь кавказская металлургия во 2-м тысячелетии до н.э. была воистину блистательной. Однако Кавказ совсем неожиданно предстал тогда почти неодолимым барьером не только между Югом и Севером. Кроме того — и это, пожалуй, еще более удивляет, — Кавказ «отрезал» себя не только от Севера, но также и от Юга — от регионов Анатолии и западного Ирана, служивших в 4—3 тысячелетиях до н.э. единым ареалом, где зарождались и расцветали исходные центры ЦМП. При этом,

кстати, и ЗАМП имела в районе Копетдага достаточно протяженные и общие границы с Ирано-Анатолийской провинцией, но сколько-нибудь заметных контактов по металлу с южной производственной системой также не было заметно. Может быть, и в этом также проявлялось стремление степных общностей к самообеспечению...

Перед нами возникают те вопросы, на которые крайне сложно найти удовлетворительные ответы. Хотя вполне возможно (да и скорее всего), что такая неожиданная ситуация была обусловлена кардинальными и синхронными переменами в базовом характере как южных (кавказских) культур, так и культур Степного пояса.

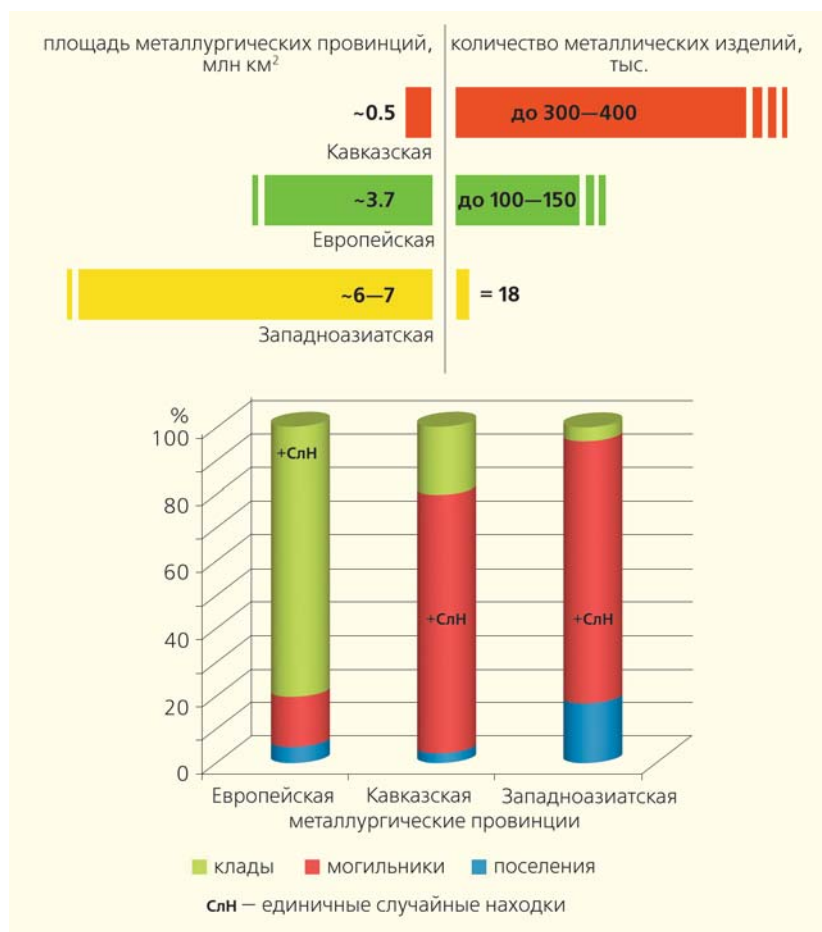
Западноазиатская провинция и ее соседи

Однако парадоксы металлургических феноменов на этом не завершаются. Они поворачиваются к нам еще более любопытной стороной при сопоставлении характера металлургического производства ЗАМП с Кавказской и Европейской провинциями. Такое предпочтение было обусловлено географической близостью этих соседей, а также тесной взаимосвязью ЗАМП с Кавказской провинцией в 3-м тысячелетии до н.э. перед ее неожиданной самоизоляция. И наконец, то был старт активного и успешного давления на западный фланг ЗАМП со стороны Европейской металлургической провинции. Различия между всеми тремя системами достигают в ряде позиций звучания почти неправдоподобного.

ЗАМП по площади превышает Кавказскую провинцию **в 12—14 раз**, но в то же время по числу известных и учтенных металлических предметов уступает своей южной соседке приблизительно **в 20 раз!** Промежуточную позицию занимает Европейская провинция, которая по территории уступает ЗАМП примерно в два раза, но по сумме учтенных металлических изделий западная система превосходит ее в 7—8 раз. И еще об одном знаковом различии между Европейской и Западноазиатской металлургическими провинциями: упомяну вкратце о тех комплексах, в которых сосредоточен металл. Металлосодержащие комплексы ЗАМП не менее чем в 80%

случаев представляют собой сравнительно бедный погребальный инвентарь. Те же 4/5 комплексов металла, но в Европейской провинции сосредоточены вкладах мастеров литейного дела. Таких комплексов там зафиксировано более тысячи, и в них известно до **ста тысяч (!)** различных металлических артефактов. Лишь только в единственном (правда, крупнейшем в этой провинции) трансильванском кладе Уиоара де Суз насчитали почти **шесть тысяч (!)** бронзовых предметов, а их общий вес превышал тонну! Иногда Европейскую провинцию по причине такого богатства именуют *провинцией кладов*. А теперь для сравнения упомяну окладах ЗАМП: во всей территориально неохватной провинции их всего 35, а зафиксировано в них лишь 319 (!) медных и бронзовых вещей.

Различия между ЗАМП и ее соседями действительно очень близки к неправдоподобным. Но как объяснить такой контраст? Первое, что может прийти в голову: в провинции добывали мало металла. Но это не так. Мы ведь знаем, что во второй



Сопоставление некоторых важнейших характеристик Европейской, Кавказской и Западноазиатской металлургических провинций. Сведения о количестве металлических изделий Европейской и Кавказской провинций даны в приближенном исчислении.

фазе истории ЗАМП только из руды Каргалов было выплавлено *минимум* около **60 тыс. т меди!** И это без учета огромного числа медных рудников в иных охваченных провинцией регионах. Повторю еще раз, что не менее 4/5 медных и бронзовых вещей было извлечено из погребений носителей всех культур ЗАМП. Но ведь примерно такая же доля металла была извлечена из могил в культурах Кавказской провинции. И тогда в среднем выходит, что на Кавказе инвентарь покойников был насыщен бронзовыми артефактами примерно в 20 раз больше, нежели в степных культурах ЗАМП. Но как объяснить столь фантастично звучащие различия? Скорее всего, отгадку пресловутой бедности западноазиатских пастушеских могил следует искать в идеологических канонах этих сообществ, и об этом речь пойдет далее.

Западноазиатская провинция: «демократизм» обрядов

Наконец, еще один из парадоксов развития культур в рамках ЗАМП был выражен удивительным «демократизмом» едва ли не всех ее памятников. Если вести отчет от наиболее ранних и поразительно броских отражений «героики» в погребальных обрядах, т.е. от северокавказских курганов *майкопской* культуры (4-го тысячелетия до н.э.), то совсем нетрудно подметить, как шаг за шагом на западной половине Степного пояса выразительность погребальной «героики» снижалась, становилась все менее и менее «выпуклой» и бросающейся в глаза. В этом отношении ЗАМП рисует для нас очевидную и финальную вершину этой могильной «дегероизации».

Уже на раннем этапе истории провинции довольно быстро угасают черты курганных культур предшествующего периода ЦМП, ставших исходными для абашево-синташтинской общности. Постепенно сходит на нет почти неперемный ритуал подкурганных захоронений. До известной степени он сохраняется в раннем абашевском ареале этой общности (ранее уже упоминалось о знаменитом кургане близ с.Пепкино), но в более восточных регионах его почти не практикуют. Основой для второй фазы периода стабилизации ЗАМП остаются по-прежнему погребальные памятники, по преимуществу бескурганные некро-

поли. Бесконечно число раскопанных и трудно различимых между собой захоронений, где погребенные сопровождаются однообразным и весьма скудным инвентарем. Здесь практически никак не выражены признаки иерархического членения тогдашнего общества. На кладбищах все не обозначены могилы вождей или героев, а захоронения низших по социальному статусу можно лишь предполагать в чередке полностью лишенных инвентаря погребений.

Неужели в степном мире ЗАМП отсутствовала социальная иерархия? Может быть, резонно предположить, что «демократизм» стал неперемным и обязательным лишь в обрядах переселения из земного мира во внеземной? Однако на второй стадии, например, число не только могильных, но и бытовых памятников срубно-андроновского мира многократно возрастает. И едва ли не все они также лишены своих ярко выраженных индивидуальных черт. На фоне земледельческих глинобитных домов убогими кажутся здесь и остатки обиталищ скотоводов. Руины этих становищ весьма отличны от мощных и во многих случаях огромных стационарных поселений оседлых земледельцев южного домена. Насыщенность же культурных напластований бытовыми остатками, и прежде всего наиболее представительными из них — обломками глиняной посуды, кажется незначительной. Здесь нас ожидает унылое однообразие археологических памятников, рассеянных по всем безграничным просторам ЗАМП. Однако в этом унынии «демократического единообразия», пожалуй, таится одна из самых любопытных и примечательных черт феномена Западноазиатской системы. Обнажить глубинные причины такой парадоксальной метаморфозы культуры степных народов и вникнуть в их сущность — одна из наиболее трудно решаемых загадок при изучении этой пространственно неохватной провинции.

* * *

Промелькнет кажущийся недолгим отрезок времени, и «унылый демократизм» культур ЗАМП будет буквально смят могучей вспышкой *идеолого-технологической революции*. Ее результатом станет зарождение и формирование гигантского Скифского мира — апогея в истории кочевников Евразийского Запада. Об этом ярчайшем феномене пойдет речь в следующей статье. ■

Литература

1. Черных Е.Н. Культуры кочевников в мегаструктуре Евразийского мира. М., 2013. Т.1.
2. Черных Е.Н. Структура Евразийского мира на фоне геоэкологии после открытия металлов: Север—Юг // Природа. 2011. №7. С.3—13.
3. Халиков А.Х., Лебединская Г.В., Герасимова М.М. Пепкинский курган (абашевский человек). Йошкар-Ола, 1966.
4. Медникова М.Б. Трепанации у древних народов Евразии. М., 2001.
5. Добровольская М.В., Медникова М.Б. «Медные люди» эпохи бронзы: реконструкция состояния здоровья и социального статуса // Археология, этнография и антропология Евразии. 2011. №2 (46). С.143—156.

Как напечатать щитовидную железу

Научные сообщения

Е.В.Кудан,

кандидат химических наук

И.С.Гладкая

Е.А.Буланова,

кандидат биологических наук

Ю.Дж.Хесуани

В.А.Миронов,

кандидат медицинских наук

Лаборатория биотехнологических исследований «3D Bioprinting Solutions»
Москва

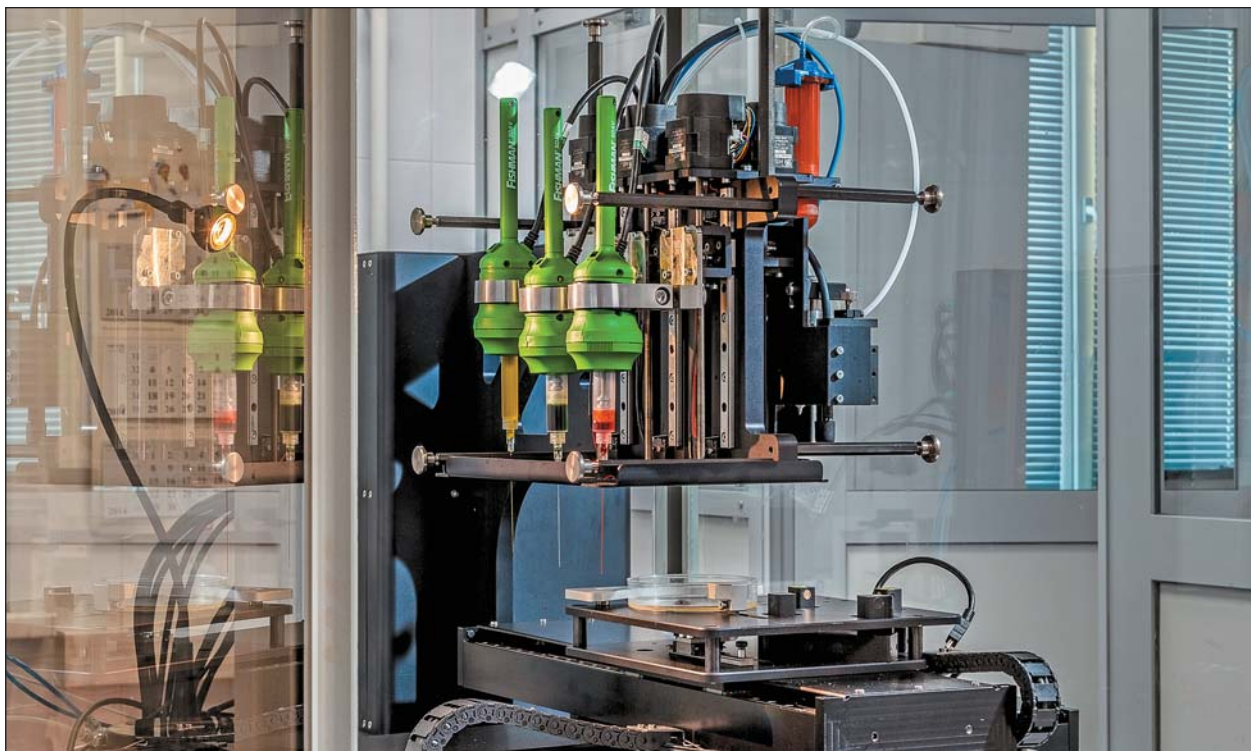
Трехмерная биопечать (3D-bioprinting) — одна из самых интригующих и быстро развивающихся в текущем столетии биомедицинских технологий, которая обещает в обозримом будущем решить проблему острой нехватки донорских

органов. Для биопечати необходимы: трехмерная компьютерная модель органа, построенная с помощью специальных компьютерных программ CAD (от англ. computer-aided design — автоматизированное проектирование), «биобумага» — гидрогель, удерживающий живые клетки в заданном положении, «биочернила» — способные сливаться между собой тканевые сфероиды, картридж для

© Кудан Е.В., Гладкая И.С., Буланова Е.А., Хесуани Ю.Дж., Миронов В.А., 2015



Сотрудники лаборатории биотехнологических исследований «3D Bioprinting Solutions». Слева направо — И.С.Гладкая (старший научный сотрудник), Е.А.Буланова (заведующая лабораторией), С.В.Новоселов (директор лаборатории), В.А.Миронов (научный руководитель), А.Ю.Островский (генеральный директор), Ю.А.Смирнова (директор по маркетингу), Ю.Дж.Хесуани (исполнительный директор), Д.В.Фадин (директор по развитию), Е.В.Кудан (старший научный сотрудник), А.Н.Митряшкин (биоинженер), А.Д.Гладнева (лаборант).



Мультифункциональный трехмерный биопринтер «Фабцион». Три его форсунки предназначены для «биочернил» (тканевых сфероидов или суспензии различных клеток), две другие — для «биобумаги» (биodeградируемых гидрогелей, которые не только фиксируют сфероиды в нужном положении, но и служат питательной средой для клеток).

них и биопринтер — диспенсер, т.е. роботическое раздаточное устройство*.

Разработкой биопринтеров в настоящее время активно занимаются в 16 компаниях 12 стран мира (США, Швейцарии, Австралии, Канаде, Великобритании, Сингапуре, Китае, Германии, Голландии, Франции, Японии и России). Одна из них — наша лаборатория «3D Bioprinting Solutions», где в июле прошлого года был собран первый отечественный биопринтер, а в марте текущего с его помощью планируется напечатать первую органную конструкцию, предназначенную для создания искусственной щитовидной железы. Почему мы выбрали именно этот орган, а не какой-нибудь другой, более оправданный с клинической точки зрения, — например, сердце, почку или легкое? Прежде чем ответить на этот вопрос, поясним, что такое напечатанная органная конструкция и чем она отличается от тканевой, а для начала напомним понятие «орган».

По определению, орган (от греч. *ὄργανον* — инструмент) — это обособленная совокупность различных типов клеток и тканей, объединенных в единую структуру, предназначенную для выполнения общей функции. Состоят органы обычно из

рабочей части (паренхимы), образованной функциональными клетками, и поддерживающей оболочки (стромы), включающей капсулу из соединительной ткани и перегородку, по которым идут нервы и сосуды. Большинство органов образовано из повторяющихся структурно-функциональных элементов (например, почка — из нефронов, щитовидная железа — из фолликулов). Ясно, что каждый из них, хоть и выполняет основные функции (нефрон — фильтрует плазму крови, фолликул — синтезирует гормоны), сам по себе не может рассматриваться как целый орган. Для этого, во-первых, таких элементов должно быть много и, во-вторых, они должны быть объединены в обособленную анатомическую структуру с определенной гистологической организацией и единым сосудистым руслом. Мы акцентируем внимание на этих, казалось бы, очевидных критериях в определении органа, потому что нас нередко спрашивают: можно ли считать уже созданные на биопринтерах тканевые конструкции кожи, хряща, сосудов и печени первыми напечатанными органами? В строгом смысле этого слова, конечно, нет, поскольку функциональность таких конструкций, которые также называют тканевыми органоидами, не обеспечена на уровне всего организма. Однако их ценность безусловна, в частности, они могут использоваться в доклинических исследованиях новых лекарственных препаратов, проверки их безопас-

* Подробнее о технологии см.: *Миронов В.А.* По стопам Гутенберга: трехмерная биопечать органов // *Природа*. 2013. №10. С.3–12. — *Примеч. ред.*

ности [1]. Например, в «Organovo» (Сан-Диего, США) — лидирующей компании в области 3D-bio-printing — печатают на биопринтере трехмерные образцы ткани печени, которые реагируют на токсины так же, как клетки настоящего органа. Эти образцы оказались эффективнее двухмерных аналогов и недавно прошли проверку в независимых лабораториях. Сейчас компания «Organovo» ждет одобрения от Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and drug administration, США), после чего приступит к коммерческой биопечати тканей для производителей лекарств. Это очень важное достижение биотехнологии, поскольку использование трехмерных тканевых образцов позволит быстрее выводить новые лекарственные препараты на рынок, минуя этап их доклинической проверки на животных и повышая эффективность тестирования.

Почему щитовидная железа?

Органы напечатать нельзя, потому что они очень сложные, — утверждают наши оппоненты, скептически относящиеся к технологии трехмерной биопечати органов. Чтобы продемонстрировать ее принципиальную реализуемость, достаточно выбрать относительно простой орган — чем он будет проще, тем выше наши шансы напечатать его в ближайшее время. Щитовидная железа не

имеет сложной системы протоков для выведения продуктов ее деятельности. Гормоны поступают прямо в густые сети фенестрированных (т.е. с порами для проникновения крупных молекул) кровеносных капилляров, которые оплетают каждый фолликул.

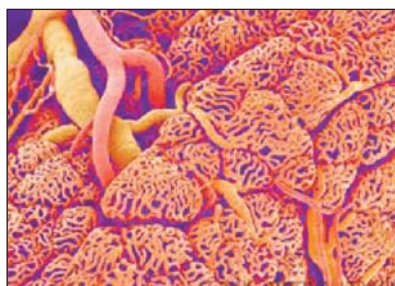
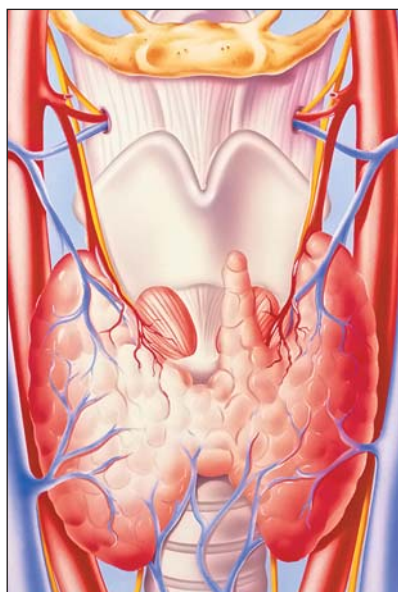
Сейчас известно, что эпителиальные фолликулярные клетки (тироциты) щитовидной железы синтезируют тироксин и трийодтиронин, которые регулируют клеточный метаболизм, ростовые и энергетические процессы, а парафолликулярные (С-клетки) — пептидный гормон кальцитонин, контролирующий кальциевый обмен и развитие костного аппарата.

Недостаток гормонов (гипотиреоз) может вызывать развитие кретинизма (у детей) или микседемы (у взрослых), а избыток (гипертиреоз, тиреотоксикоз) — разрастание тканей щитовидной железы и образование зоба. Проявления гипотиреоза вполне эффективно лечатся с помощью гормонозаместительной терапии, а вот с зобом не всегда удается справиться консервативными методами и приходится прибегать к хирургическим.

Надо сказать, что удалять щитовидную железу при ее патологическом увеличении врачи начали еще задолго до выяснения ее эндокринных функций. Большая заслуга в том швейцарских хирургов и особенно Т.Кохера (Т.Kocher), который в 1909 г. был награжден Нобелевской премией «за работы в области физиологии, патологии и хирургии щитовидной железы». Кохер первым начал импланти-

ровать ее ткань в брюшину пациентов после удаления зоба (тиреоидэктомии), что предотвращало развитие у них микседемы. По мнению историка медицины Т.Шлиха (T.Schlich), это заложило основы развития новой отрасли хирургии — клинической трансплантологии [2].

В 1930-х годах другой нобелевский лауреат, получивший премию «за разработку методов шивания сосудов и трансплантации кровеносных сосудов и органов», А.Каррель (A.Carrel) вместе с инженером Ч.Линдбергом (Ch.Lindbergh) сконструировал перфузионный аппарат (по сути, первый биореактор). С его помощью им удалось в течение целого месяца поддерживать жизнеспособность (снабжать кровью и кислородом) щитовидной железы вне организма [3]. Впоследствии американский цитолог и онколог Дж.Фолькман (J.Folkman) вводил в изолированную перфузируемую щитовидную железу клетки мелано-



Схематическое изображение анатомического расположения щитовидной железы человека (слева) и микрофотографии ее структурной организации — кровеносной сети (вверху), визуализированной с помощью сканирующей электронной микроскопии сосудистых коррозионных препаратов, и гистологического среза (окраска гематоксилин-эозином), на котором видны фолликулы, содержащие коллоид и выстланные клетками однослойного эпителия (тироцитами).

мы, изучая связь между ростом новообразований с их кровоснабжением, что привело к открытию феномена опухолевого ангиогенеза и созданию противораковых препаратов нового поколения [4].

В щитовидной железе могут развиваться различные по происхождению и биологическим свойствам новообразования, в том числе и злокачественные. Во избежание рецидива врачи, как правило, прибегают к тотальной тиреоидэктомии, а возникающий затем дефицит гормонов обычно компенсируют заместительной терапией. Однако синтетические гормоны, которые также используют при гипотиреозе различной этиологии, могут вызывать побочные эффекты (аллергические реакции, нарушения сердечного ритма, нервные расстройства). Решить такого рода проблемы могла бы трансплантология, однако пересадка донорской щитовидной железы (аллотрансплантация) в настоящее время выполняется крайне редко из-за отторжения чужеродной ткани.

В Великобритании есть специальное общество, оказывающее финансовую поддержку исследований по пересадке щитовидной железы. Бывший редактор журнала «Thyroid» (официального журнала Американской тиреологической ассоциации (American Thyroid Association) Т.Ф.Дэвис (T.F.Davies) полагает, что вопрос о пересадке щитовидной железы — это вопрос времени, а не возможности исполнения [5].

Трехмерная биопечать аутологичных (т.е. из клеток пациента) органов позволит решить проблемы не только щитовидной железы. И эти надежды не беспочвенны, какими бы фантастическими они ни выглядели для непосвященных. Как любая новая технология, метод 3D-bioprinting возник не на пустом месте, он вобрал в себя достижения информационных и технических наук, науки о биоматериалах, генетики, биологии развития и клеточной биологии. И, наконец, наступило время, когда мы готовы показать принципиальную реализуемость технологии. Для этой цели мы стремимся не только выбрать наиболее простой орган для биопечати органной конструкции, но и максимально упростить ее анатомию. Чем же можно пренебречь?

Очевидно, что, как и настоящая щитовидная железа, ее напечатанная конструкция должна состоять из крупных кровеносных сосудов (артерий и вен) и расположенных между ними ангио-фолликулярных единиц (фолликулов, которые содержат коллоид, выстланы клетками однослойного эпителия, или тироцитами, и оплетены плотной сетью кровеносных капилляров с фенестрированным эндотелием). Понятно, что органная конструкция не будет работать без васкуляризации, т.е. без фабрикации внутреннего сосудистого русла, соединенного с приносящими артериями и выносящими венами. Для наших целей, по-видимому, будет вполне достаточно одной артерии и одной

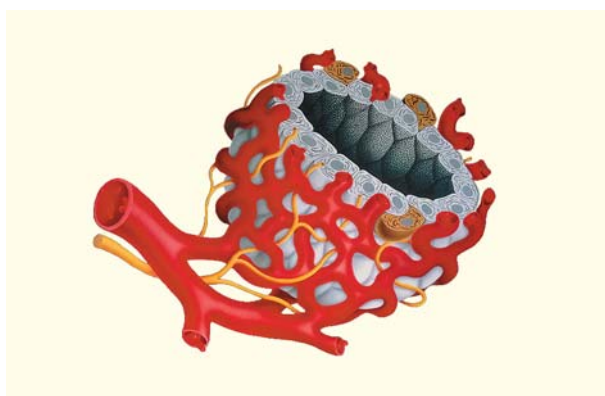


Схема ангио-фолликулярной единицы щитовидной железы.

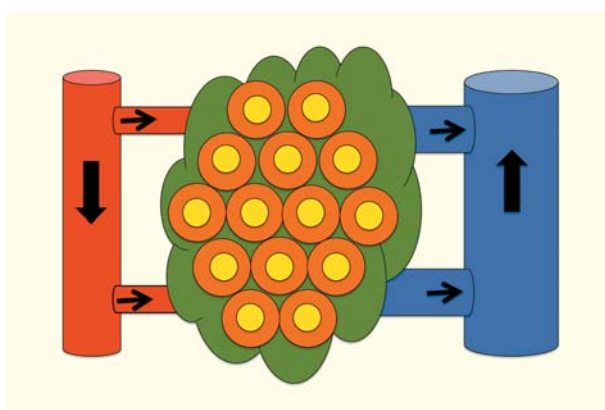


Схема упрощенной структуры щитовидной железы с одной входящей артерией и одной выходящей веной.

вены. Безусловно, они должны обладать определенными биомеханическими свойствами, которые необходимы для создания безопасных соединений (анастомозов) с кровеносной системой организма. Однако это требование важно, если напечатанный имплантат впоследствии будет пересажен на обычное (ортотопическое) для щитовидной железы место, но этим условием можно пренебречь при гетеротопической имплантации. Известно, что трансплантаты щитовидной железы, помещенные под кожу, в мышцы или под хорошо васкуляризованную капсулу почки, могут выживать и продуцировать гормоны.

Остальными структурными элементами (нервной и лимфатической системами, соединительнотканной капсулой с перегородками, а также С-клетками), которые есть в нормальной щитовидной железе, также пока можно пренебречь для практической реализации задачи. (Заметим, что при пересадке, например, почки нервные волокна перерезаются, что не мешает нормальному функционированию имплантата в организме.)

Естественно, все перечисленные упрощения ни в коей мере не исключают совершенствование сосудистой сети органной конструкции в будущем.

Биофабрикация ангио-фолликулярных единиц

Первый принципиальный вопрос, возникающий еще на этапе создания цифровой модели щитовидной железы, — сколько необходимо ангио-фолликулярных единиц для печати органной конструкции? Вопрос этот напрямую связан с размерами организма, которому будет имплантирована напечатанная конструкция. Диаметр и количество фолликулов в щитовидной железе разных животных уже достаточно хорошо известны. Более того, можно также оценить, скольких фолликулов в тканевом имплантате достаточно для компенсации функции щитовидной железы. В случае использования функционально незрелых или недостаточно дифференцированных фолликулов щитовидной железы [6] их количество должно быть соответственно увеличено в несколько раз. Например, при использовании мышинных эксплантатов щитовидной железы, изолированных на 15 день беременности, по нашим подсчетам, необходимо по крайней мере около 15 тыс. фолликулов.

Другая важная проблема, которую необходимо решить, приступая к биофабрикации *in vitro* фолликулов щитовидной железы, — это выбор источника большого количества тироцитов.

В настоящее время накоплен большой материал по эмбриогенезу щитовидной железы у различных видов животных [7]. У человека ее зачаток можно определить на ранних стадиях внутриутробного развития. Однако использование эксплантов человеческих эмбрионов для биопечати щитовидной железы до последнего времени рассматривалось как нереальный подход. И не только из-за запретов или этических проблем, но и из-за трудности сбора эмбрионального материала в достаточном количестве для биофабрикации щитовидной железы взрослого размера. Но даже если такой материал удастся собрать, он будет от разных плодов и по сути дела аллогенен, поэтому, несомненно, вызовет иммунное отторжение имплантированной конструкции или потребует дорогой и длительной иммуносупрессивной терапии.

Новые возможности для масштабной продукции тироцитов открыл метод направленной дифференцировки эмбриональных стволовых клеток (ЭСК). Чтобы получить из них функциональные фолликулы щитовидной железы, достаточно временно повысить экспрессию в ЭСК всего двух генов — NKX2-1 и PAX8 [8]. Но у данного подхода есть существенное ограничение — из ЭСК образуются только фолликулярные клетки, а для формирования полноценных ангио-фолликулярных единиц нужны еще и эндотелиальные.

Следующий логический шаг после создания функциональных фолликулов щитовидной железы из ЭСК путем направленной дифференциров-

ки — использование индуцированных плюрипотентных стволовых клеток* (ИПС-клеток) человека. ИПС-клетки не вызывают иммунного ответа, поскольку создаются из клеток самого пациента. Из дифференцированных ИПС-клеток можно формировать самоорганизующиеся микроткани (тканевые органоиды), которые будут служить удобными строительными блоками в технологии биопечати [9].

Наконец, фолликул должен быть не только функционален (т.е. способен синтезировать тироксин), но и оптимально васкуляризован (т.е. оплетен плотной сетью фенестрированных кровеносных капилляров, обеспечивающих выделение гормонов щитовидной железы непосредственно в циркулирующую кровь). Важно отметить, что функциональность фолликулов может варьировать в зависимости от метода их биофабрикации. Фолликулы, источником которых послужили ЭСК или ИПС-клетки, приобретают сосудистую сеть только за счет эндотелиальных клеток реципиента после имплантации под капсулу почки. Хотя в результате имплантат становится васкуляризованным и достаточно функциональным, напечатанную из таких фолликулов трехмерную тканевую конструкцию нельзя рассматривать как полноценную интегрированную органную конструкцию. В этой связи преимущество получают эмбриональные экспланты щитовидной железы, так как фолликулы, которые можно использовать в качестве строительных блоков, уже васкуляризованы с 15 дня эмбриогенеза. Правда, уровень их функциональности зависит от стадии эмбрионального развития или количества таких стимуляторов фолликулогенеза, как VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor — фактор роста эндотелия сосудов) [6].

Васкуляризация органной конструкции щитовидной железы

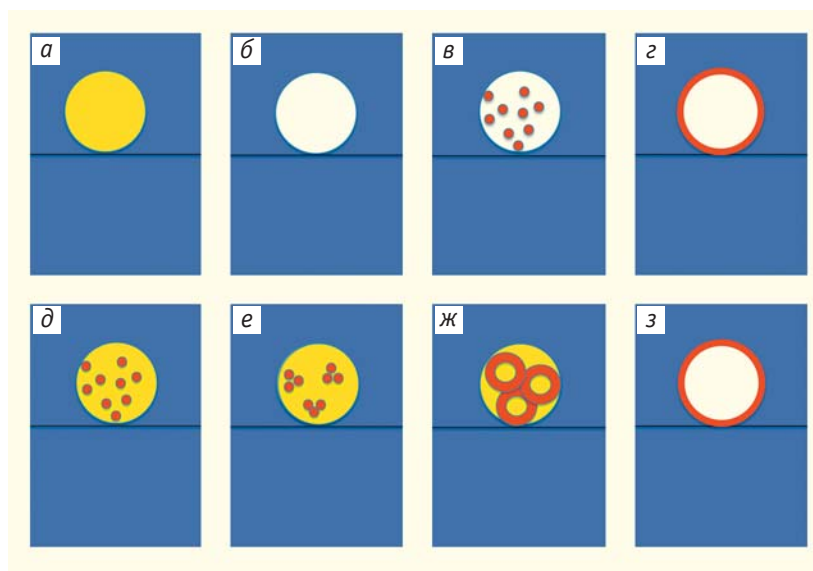
Проблему васкуляризации тканево-инженерных органов технология биопечати во многом унаследовала от тканевой инженерии. Между тем в последние годы наметился явный прорыв в этой области. Речь, прежде всего, идет об использовании так называемого жертвенного (sacrificial) гидрогеля. Уже несколько авторов убедительно продемонстрировали, что использование жертвенного гидрогеля позволяет печатать тоннели жесткой конструкции, которые в дальнейшем могут быть использованы для эндотелизации, т.е. превраще-

* Стволовые клетки с индуцированной плюрипотентностью — клетки взрослого организма, которые с помощью метода генетического репрограммирования вернули в эмбриональное состояние. Подробнее см.: Киселев С.Л., Шутова М.В. Репрограммирование клеток: прыжок вверх по лестнице, ведущей вниз // Природа. 2010. №5. С.3—10. — *Примеч. ред.*

ния в сосудоподобные каналы, выстланные изнутри эндотелием [10, 11]. Расположив ангиофолликулярные единицы щитовидной железы между двумя такими эндотелизированными каналами и соединив две эндотелиальные системы ангиогенными отростками, вполне реально получить перфузируемую васкуляризованную органную конструкцию щитовидной железы.

В качестве жертвенного гидрогеля может использоваться смесь сахаров (carbohydrate glass — углеводное стекло) [10] или агароза [11], которые либо просто растворяются, либо удаляются механически или с помощью ферментов. Такой весьма привлекательный подход эффективен и легко воспроизводим для создания простых линейных конструкций, но очевидно, что при биофабрикации более сложных трехмерных может произойти неполная эндотелизация. А это чревато возникновением тромбозов и эмболии после имплантации.

В основе другого подхода лежит способность клеток эндотелия к самосборке в капиллярные сети и даже в сосуды большего диаметра. Эндотелиальные клетки, расположенные в трехмерном коллагеновом или фибриновом гидрогеле, при стимуляции ростовыми факторами могут образовывать капиллярные сети с просветом [12]. Последовательное слияние капилляров в замкнутом пространстве эксплантов аллантаоиса (зародышевой оболочки) ведет к образованию люминизированных (от англ. lumina — просвет) тканевых сфероидов, способных к дальнейшему слиянию в линейные и ветвящиеся сосудистые трубки. Возможность образования внутри органной конструкции сосудистого русла таким способом подтверждена экспериментально [13], и феномен слияния люминизированных сосудистых тканевых сфероидов может быть эффективно использован для создания перфузируемых кровеносных сосу-



Способы васкуляризации напечатанных трехмерных конструкций с использованием жертвенного гидрогеля и принципов самосборки сосудистого эндотелия. Первый способ (верхний ряд): жертвенный гидрогель (выделен желтым цветом на рисунке *a*) со временем растворяется или удаляется, а в образовавшийся тоннель (*б*) помещается суспензия эндотелиальных клеток (красные точки на *в*), из которых впоследствии образуется непрерывный однослойный эндотелий искусственного сосуда (*г*). При втором способе (нижний ряд) эндотелиальные клетки (*д*), расположенные в коллагеновом гидрогеле (желтый), собираются в кластеры (показаны в виде скоплений из трех красных точек на *е*), которые сливаются сначала в микрокапилляры (сфероиды на *ж*), а затем в единый сосуд, выстланный однослойным эндотелием (*з*).

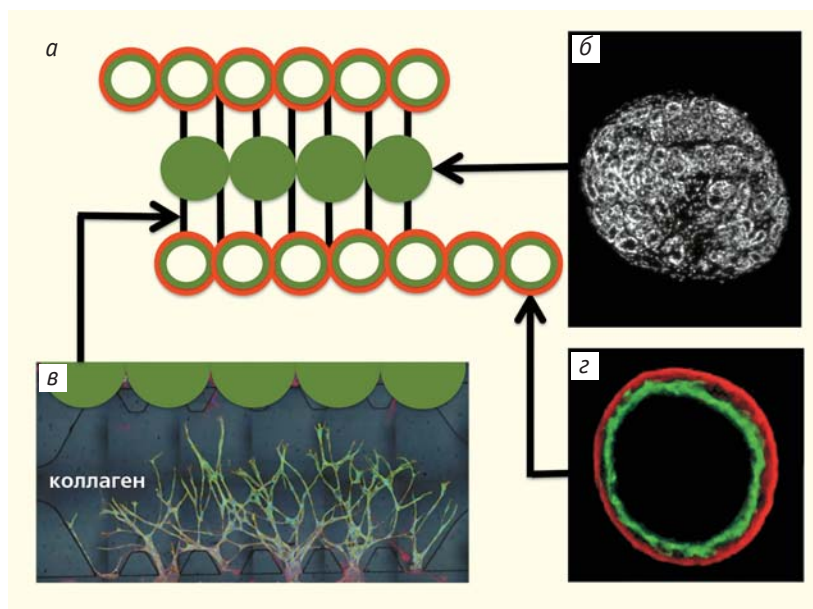


Схема биопечати органной конструкции щитовидной железы (*a*). Она содержит тканевые сфероиды (*б*), заполненные васкуляризованными фолликулами, капиллярные мостики (*в*), образуемые путем ангиогенеза, а также люминизированные сосудистые тканевые сфероиды (*г*). Эндотелиальные клетки окрашены зеленым цветом, гладкомышечные — красным.

дов при биопечати щитовидной железы. Полученные таким образом трубчатые конструкции не только поддерживают свою геометрическую форму, но и со временем приобретают свойственные сосудам данного диаметра биомеханические свойства. Так, использование всего двух типов тканевых сосудистых сфероидов (с просветами и без), а также суспензии эндотелиальных клеток в гидрогеле способны обеспечить биопечать органной конструкции, которую можно хирургически соединять через сосудистые анастомозы с существующими сосудами реципиента при ортотопической имплантации.

Оценка функции органной конструкции

Основное условие для выполнения главной функции щитовидной железы (синтез тироксина) — наличие достаточного количества правильно сформированных ангио-фолликулярных единиц. Не менее важно и присутствие богатой сети fenestrated кровеносных капилляров, оплетающих каждый фолликул и обеспечивающих проникновение гормона тироксина в циркулирующую кровь.

Проверить наличие в органной конструкции развитых ангио-фолликулярных единиц можно с помощью как гистологических, гистохимических

и иммуногистохимических исследований с использованием соответствующих антител, так и электронной микроскопии. Однако только эксперименты *in vivo* могут подтвердить ее функциональность на уровне организма. Прямое доказательство тому — восстановление нормального уровня тироксина в крови после имплантации тканево-инженерной конструкции щитовидной железы (или введения суспензии фолликулов) у животных с экспериментальной гипотрофией.

В настоящее время используются два основных подхода к экспериментальной гипотрофии у лабораторных животных. Первый подход, классический, основан на хирургическом удалении щитовидной железы. Этот подход использовали японские исследователи во главе с Т.Окано (T.Okano) для тестирования функциональности фолликулов щитовидной железы, созданных методом клеточных пластов (cell sheet технология) [14]. Имплантированная тканево-инженерная конструкция щитовидной железы вырабатывала достаточное количество тироксина для поддержания его нормального физиологического уровня в крови, снизившегося после удаления щитовидной железы. Бельгийские ученые под руководством С.Костаглиоли (S.Costagliola) недавно разработали другой подход, который основан на использовании внутриперитонеальных инъекций радиоактивного йода [8]. Имплантация фолликулов щитовидной железы, созданных методом направленной дифференцировки мышечных эмбриональных стволовых клеток, восстанавливала нормальный физиологический уровень тироксина в крови, значительно пониженный в результате инъекций радиоактивного ¹³¹I. [8].

Главное достоинство обоих подходов в том, что они основаны на объективных количественных критериях — уровне тироксина (T4) в крови. Кроме того, использование мелких лабораторных животных значительно упрощает и удешевляет процесс биофабрикации функциональных тканевых конструкций щитовидной железы. Размер напечатанной органной конструкции щитовидной железы с достаточной функцией на уровне организма при обоих подходах может быть в пределах нескольких миллиметров.

Технология биопечати человеческих органов бурно развивается и от концептуальной стадии и разработки трехмер-

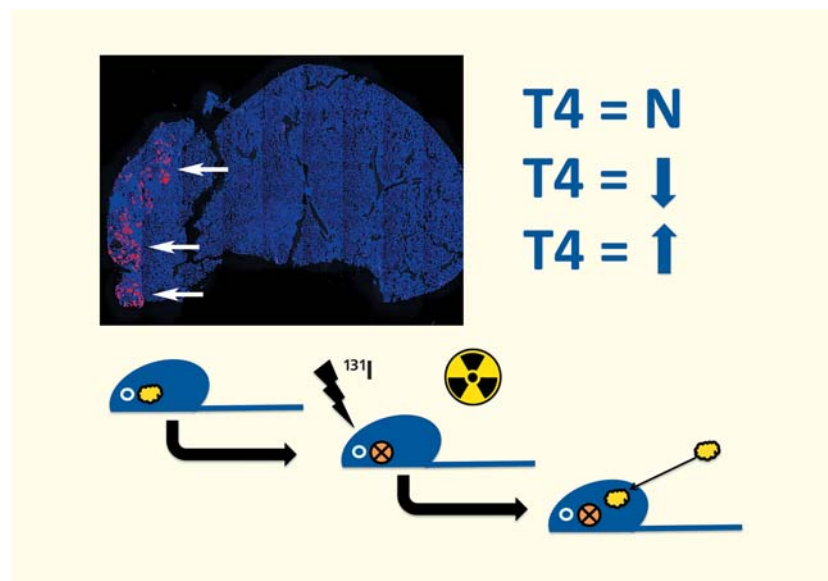


Схема эксперимента по оценке функциональности напечатанной органной конструкции щитовидной железы. Нормальный уровень (N) гормона тироксина (T4) в крови сначала снижается путем создания экспериментальной гипотрофии с помощью инъекций радиоактивного йода-131 (¹³¹I), а затем восстанавливается после трансплантации напечатанной органной конструкции щитовидной железы. На гистологическом срезе белыми стрелками указаны розовые фолликулы щитовидной железы, пересаженные под капсулу почки мыши с экспериментальной гипотрофией щитовидной железы [8].

ных биопринтеров стремительно переходит к практической реализации технологии [15]. По нашему мнению, напечатанный орган должен удовлетворять, по крайней мере, трем основным критериям.

Во-первых, такой орган должен быть напечатан роботизированным устройством — биопринтером на основе предварительно разработанной цифровой модели органа или органной конструкции. Во-вторых, напечатанная органная конструкция должна быть аутентична, т.е. состоять из нескольких присущих данному органу типов тканей, быть структурно интегрирована в единое целое и васкуляризирована, т.е. должна иметь внутриорганное сосудистое русло с практической возможностью его перфузии и обеспечения жизнеспособности напечатанной органной конструкции. В-третьих, такая конструкция должна быть функциональна. Иначе говоря, ее имплантация экспериментальным животным должна полностью компенсировать функцию предварительно удаленного или разрушенного каким-либо другим образом органа реципиента.

Следует отметить, что конкретная форма, размеры, геометрия, а также внутренняя организация напечатанной органной конструкции — это безусловно важные, но по сути вторичные параметры. Гораздо существеннее специфическая или аутен-

тичная для конкретного органа тканевая организация. Почка должна состоять из нефронов, а обсуждаемая в данной статье щитовидная железа — из интегрированных внутриорганной сосудистой системой ангио-фолликулярных единиц. Однако главное доказательство — это прямая и объективная демонстрация функциональности напечатанной органной конструкции. Для щитовидной железы после имплантации ее органной конструкции показателем будет служить восстановление нормального уровня тироксина в крови. Размеры напечатанного органа совершенно не важны. Например, для мыши конструкция щитовидной железы может быть чрезвычайно малой. Если в ней есть достаточное количество функционирующих ангио-фолликулярных единиц, вырабатывающих тироксин и обеспечивающих нормальную физиологическую функцию органа в организме, то напечатанная конструкция должна считаться именно органной конструкцией, а не просто тканевой, не микротканью и не тканевым органоидом.

Таким образом, только верифицированная функциональность в организме делает напечатанные трехмерные тканевые структуры конструкциями органного уровня. Нет сомнений в том, что напечатанные человеческие органы в обозримое время станут для нас объективной реальностью, данной нам в ощущениях. ■

Литература

1. Roth A., Singer T. The application of 3D cell models to support drug safety assessment: opportunities and challenges // *Adv. Drug Deliv. Rev.* 2014. V.69—70. P.179—89. doi:10.1016/j.addr.2013.12.005
2. Schlich T. The origins of organ transplantation: surgery and laboratory science, 1880s—1930s. NY, 2010.
3. Carrel A., Lindbergh Ch.A. The culture of organs. NY, 1938.
4. Folkman J. Tumor angiogenesis: therapeutic implications // *N. Engl. J. Med.* 1971. V.285. P.1182—1186.
5. Davies T.F. Is thyroid transplantation on the distant horizon? // *Thyroid.* 2013. V.23. №2. P.139—141.
6. Hick A.C.I., Delmarcelle A.S., Bouquet M. et al. Reciprocal epithelial: endothelial paracrine interactions during thyroid development govern follicular organization and C-cells differentiation // *Dev. Biol.* 2013. V.381. №1. P.227—240. doi:10.1016/j.ydbio.2013.04.022
7. Nilsson M., Fagman H. Mechanisms of Thyroid Development and Dysgenesis: An Analysis Based on Developmental Stages and Concurrent Embryonic Anatomy // *Current topics in developmental biology.* 2013. V.106. P. 123—170. doi:10.1016/B978-0-12-416021-7.00004-3
8. Antonica F., Kasprzyk D.F., Opitz R.O. et al. Generation of functional thyroid from embryonic stem cells // *Nature.* 2012. V.491. №7422. P.66—71. doi:10.1038/nature11525
9. Lancaster M.A., Knoblich J.A. Organogenesis in a dish: modeling development and disease using organoid technologies // *Science.* 2014. V.345. №6194. doi:10.1126/science.1247125
10. Miller J.S., Stevens K.R., Yang M.T. et al. Rapid casting of patterned vascular networks for perfusable engineered three-dimensional tissues // *Nat. Mater.* 2012. V.11. №9. P.768—774. doi: 10.1038/nmat3357
11. Bertassoni L.E., Cecconi M., Manoharan V. et al. Hydrogel bioprinted microchannel networks for vascularization of tissue engineering constructs // *Lab. Chip.* 2014. V.14. №13. P.2202—2211. doi: 10.1039/c4lc00030g
12. Kamei M., Saunders W.B., Bayless K.J. et al. Endothelial tubes assemble from intracellular vacuoles in vivo // *Nature.* 2006. V.442. №7101. P.453—456. doi:10.1038/nature04923
13. Mironov V., Visconti R.P., Kasyanov V. Organ printing: tissue spheroids as building blocks // *Biomaterials.* 2009. V.30. №12. P.2164—2174. doi:10.1016/j.biomaterials.2008.12.084
14. Arauchi A., Shimizu T., Yamato M. et al. Tissue-engineered thyroid cell sheet rescued hypothyroidism in rat models after receiving total thyroidectomy comparing with nontransplantation models // *Tissue Eng. Part A.* 2009. V.15. №12. P.3943—3949. doi:10.1089/ten.TEA.2009.0119
15. Murphy S.V., Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs // *Nature Biotechnology.* 2014. V.32. №8. P.773—785. doi:10.1038/nbt.2958

Научные сообщения Одиночные кораллы: питание и морфология

Н.Б.Келлер,

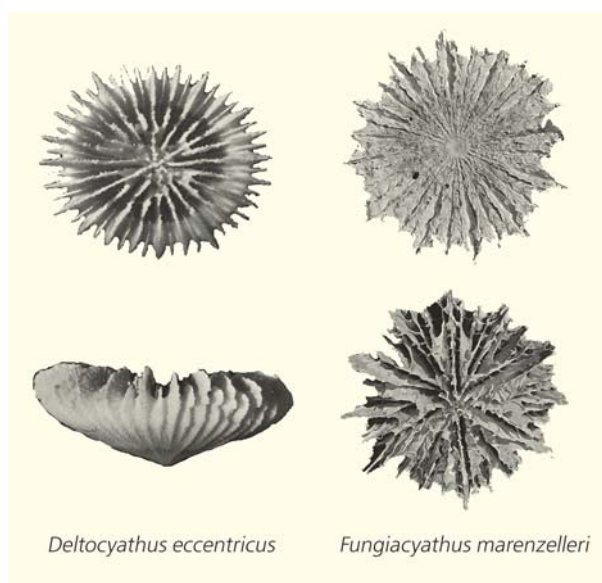
кандидат геолого-минералогических наук
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН
Москва

На просторах Мирового океана широко распространены не только колониальные кораллы, образующие рифы. Неменьшую роль играют и обособленно живущие одиночные коралловые полипы, которые образуют поселения в виде «лугов». Когда геологи находят ископаемые остатки таких кораллов, они традиционно определяют окружающую среду как теплые, хорошо освещенные тропические мелководья. Но подобные условия характерны только для рифообразующих кораллов. Одиночные же формы могут встречаться и на шельфе среди рифов, и на континентальном склоне вплоть до абиссали. Нередко до сих пор слышишь удивленные вопросы от геологов и даже от биологов: «Неужели кораллы могут жить на глубинах до 6000 м?». Да, действительно, одиночные кораллы широко распространены на разных глубинах (от первых метров до 6 км) и на разных широтах (от экватора до Арктики и Антарктики) Мирового океана. Обособленно живущие кораллы могут обитать при разных температурах, причем для каждого вида характерен собственный температурный интервал. Одни из них предпочитают холод — от -1 до $+5-6^{\circ}\text{C}$, другие, теплолюбивые, гибнут уже при температуре ниже $+18-20^{\circ}$, третьим, видам-космополитам, свойственны широкие температурные границы. Это чрезвычайно важно для реконструкции палеоэкологических условий древних бассейнов в ходе палеонтологических и стратиграфических исследований. В современной литературе накопилось достаточно сведений о температурных предпочтениях глубоководных склерактиний (шестилучевых кораллов). Важно отметить, что глубокие воды отличаются не только низкими температурами, но и голодными, олиготрофными, условиями существования. Изучение особенностей строения скелетов одиночных кораллов на примере видов рода *Flabellum* позволяет определить относительное обилие пищи в окружающих водах. Эти материалы могут, безусловно, быть интересны палеоэкологам, как еще один инструмент для познания древних обстановок.

Склерактиниям свойственен «множественный способ питания», иными словами, они потребляют

все виды пищи, кроме растительной. Это и позволяет им обитать в разных обстановках. Было доказано, что основное препятствие к заселению больших глубин океана для кораллов, ведущих неподвижный образ жизни, — это малая концентрация питательных веществ, достигающих дна.

Рассмотрение связи морфологии скелета и питания кораллов логично начать с особенностей строения склерактиний, населяющих экстремальные абиссальные глубины. Здесь в условиях постоянной нехватки пищи обитают только три вида этих организмов, принадлежащих трем разным родам — *Fungiacyathus*, *Deltocyathus* и *Leptopenus*. Все они имеют скелет (кораллит) уплощенной формы, с округлой и широко раскрытой чашкой. Над чашечным краем высоко выступают септальные перегородки (септы), орнаментированные шипами. Все скелетные элементы отличаются тонкостью и легкостью. Их структурная прочность достигается образованием поперечных балочек, облегчением септ за счет перфорации и превращением их из сплошных в шиповатые. Для этих кораллов характерно недоразвитие ске-



Кораллиты представителей двух родов глубоководных кораллов, способных жить в голодных условиях абиссали.

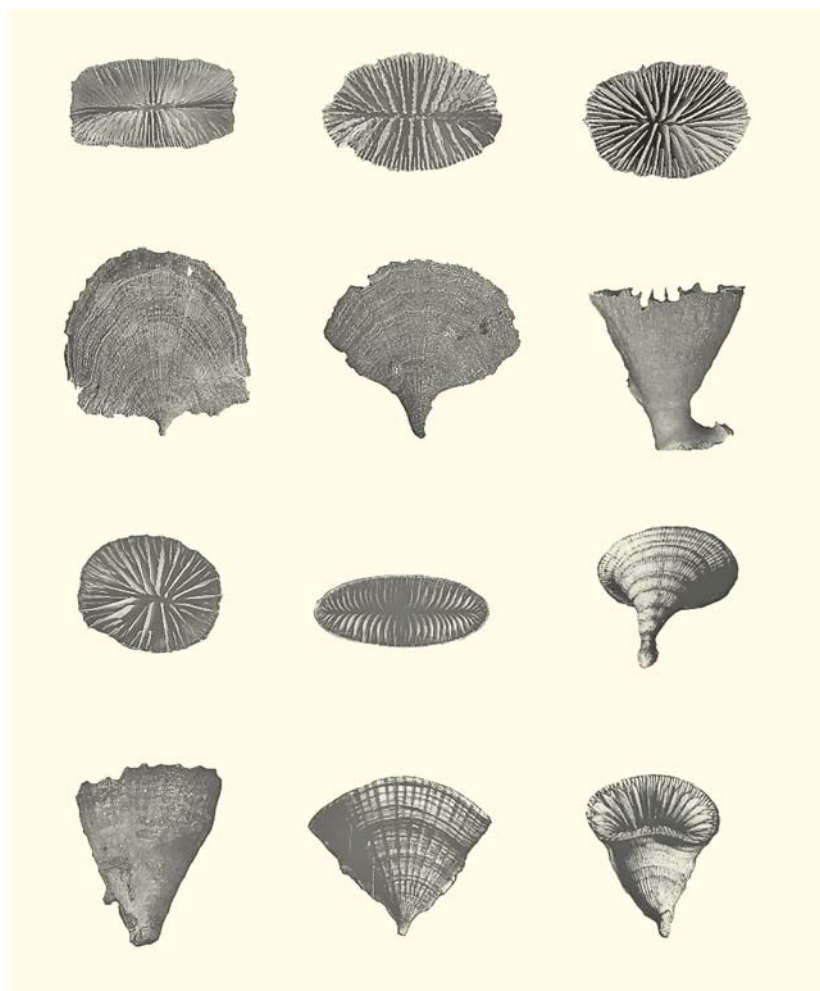
лета при репродукционной полноценности особей, что морфологически выражается в сокращении количества септальных перегородок. У представителей глубоководных родов септ относительно мало — 48, иногда даже 24 (тогда как у некоторых мелководных видов их число доходит до 360). Развитие плоской открытой чашки с высоко выступающими септами увеличивает ловчую поверхность коралла и в какой-то мере расширяет площадь всасывания, что выгодно в условиях нехватки пищи на глубинах*. Однако эти роды населяют только большие глубины, и, основываясь только на них, невозможно понять, насколько описанные особенности строения скелета связаны именно с бедным питанием, а не другими характеристиками глубоких вод.

Для того чтобы наглядней показать характерные черты кораллов, обитающих в олиготрофных условиях, их полезно сопоставить с полипами, населяющими тоже глубоководные, но богатые пищей обстановки в верхних горизонтах континентального склона. Здесь живут представители многочисленных родов и видов склерактиний, среди которых также встречаются формы с плоскими кораллитами. А наиболее многочисленными оказались космополитические для шельфовой и верхнебатиальной зоны полипы рода *Flabellum*. Виды этого рода весьма пластичны, их скелеты устроены относительно просто, а морфология варьирует в зависимости от условий среды. Поэтому именно представителей данного рода будет удобнее всего взять за основу для сопоставления морфологических особенностей скелета кораллов, обитающих в богатых и бедных пищей водах.

Напомним, что род *Flabellum* обитает от литорали до глубины 3200 м. У большинства видов скелет имеет форму конуса — от высокого узкого или резко расширяющегося в верхней части до низкого и широкого. Варианты конусовидных кораллитов весьма разнообразны. Они могут быть узкоконическими, волчковидными, роговидными, уплощенно-коническими, сдавленно-коническими, цилиндрическими, чашевидными. Также разнообразны и их чашки: ок-

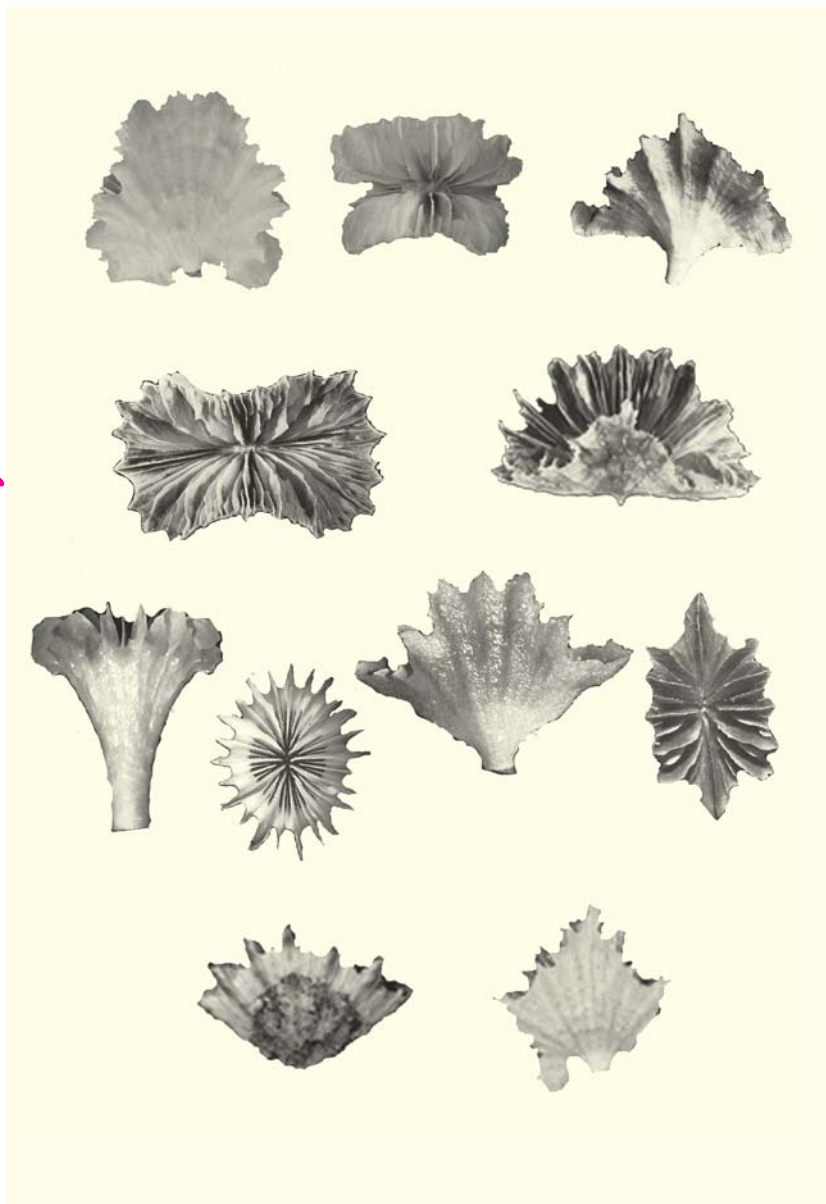
руглые, эллиптические, узкие, флабеллоидные. Чашечный край у одних видов округлый, у других изрезан в разной степени выступающими над ним септами.

Можно предположить, что реакция на пониженное количество пищи должна проявляться либо в преобладании в низкопродуктивных участках видов вполне определенного морфологического облика, приближающегося, насколько это возможно, к описанному выше облику абиссальных форм, живущих в бедных пищей водах, либо в уменьшении средних размеров особей. Измельчение особей под влиянием трофического фактора — известный факт. Однако нас больше занимал ранее не поднимавшийся вопрос: можно ли по облику кораллов определить, каких районах он обитает — в богатых или бедных пищей. Постановка подобной задачи оказалась возможной потому, что в Институте океанологии РАН разработаны уникальные карты распределения биомассы зоопланктона в верхних слоях океана. Таким образом, оставалось сравнить морфоло-



Кораллиты с гладким чашечным краем принадлежат нескольким видам рода *Flabellum*, которые приспособлены к жизни в богатых пищей водах.

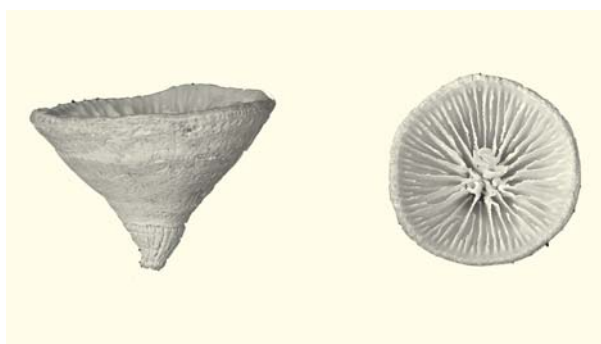
* Келлер Н.Б. Пути проникновения склерактиний в глубины океана // Природа. 2012. №11. С.57—64.



Разнообразные кораллиты принадлежат нескольким видам рода *Flabellum*, морфологически приспособленным к жизни в бедных пищей водах. Для них характерны низкая широкая чашка, изрезанный чашечный край, высоко выступающие септы.

гию скелета кораллов из разных районов и с разных глубин океана из богатейшей собранной коллекции.

Отличительные черты морфологии кораллов, обитающих в Центральной океанической области, бедной пищей, наглядно видны на примере полипов рода *Flabellum*, которые населяют подводный хребет Маркус-Уэйк в составе мощного Срединно-Тихоокеанского подводного хребта вблизи Гавайских о-вов. Концентрация зоопланктона в поверхностном слое невелика и составляет всего 25–50 мг/м³. Виды данного рода в изобилии обитают как на вершине подводного хребта, так и на его склонах. Скелет у всех видов имеет форму низкого широкого конуса, причем над чашечным краем высоко подняты шиповатые септы. Широкая и глубокая, как бы вывернутая чашка при малой относительной высоте коралла увеличивает его ловчую и всасывающую поверхность, что особенно ярко проявляется у фонового вида *F.marcus*. Число септ минимально: 48 и менее. Кораллиты имеют средний размер для одиночных склерактиний центрально-океанических зон (диаметр чашки около 2.0 см). Виды близких родов (*Truncatoflabellum*, *Vaughanella*), имеющих сходное строение, также отличаются широко открытой чашкой, изрезанным чашечным краем и небольшим количеством септальных перегородок, т.е. у них явно наблюдается конвергент-



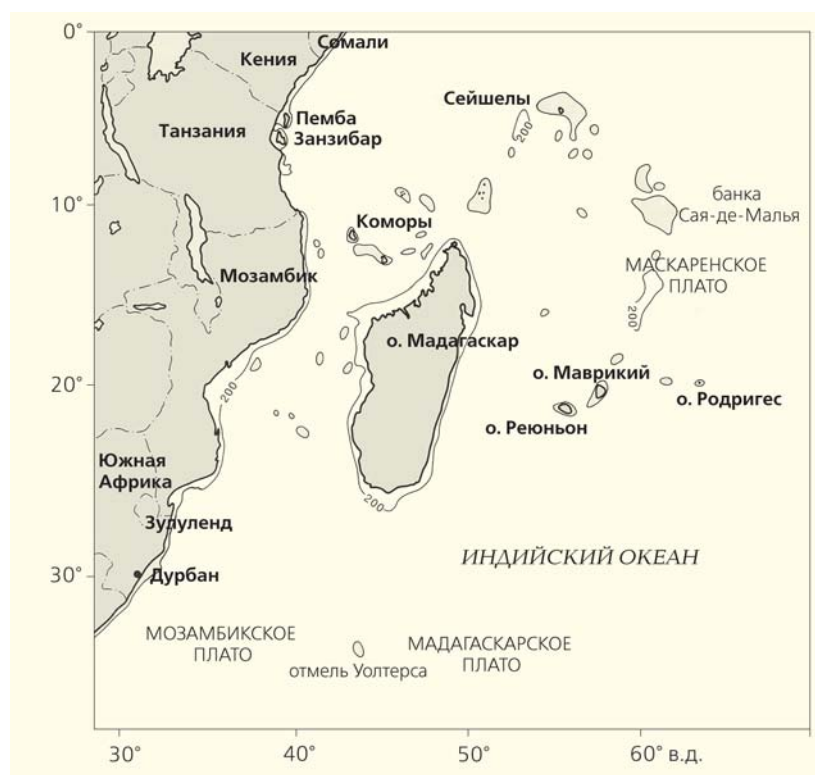
Кораллиты с гладким чашечным краем типичны для видов, обитающих в богатых пищей водах Антарктики.

ное развитие приспособлений к условиям пониженного количества пищи.

Хороший пример глубоководных обстановок с обилием пищи — это приантарктические воды. У обитающих здесь видов рода *Flabellum* и близкого к нему рода *Gardineria* кораллиты имеют форму высокого неширокого конуса с всегда гладким чашечным краем.

Доказательством того, что форма кораллита определяется именно питанием, а не глубиной, служит форма скелета кораллов, населяющих сублитераль и батиналь приконтинентальной области с пониженным содержанием зоопланктона в поверхностном слое. Они были изучены в юго-западном секторе Индийского океана — на Мадагаскарском и Мозамбикском подводных хребтах. Здесь формы с уплощенным скелетом играют ведущую роль среди множества разнообразных кораллов. Род *Fungiacyathus* представлен тремя видами, род *Deltocyathus* — двумя. Часто встречается представитель рода *Letepsammia* с плоскими кораллитами (он в батии замещает род *Leptopenus*, обитающий на больших глубинах). Многочисленны и виды рода *Stephanocyathus*, характеризующиеся широко раскрытой чашкой, край которой орнаментирован высоко выступающими многочисленными шипами.

Виды рода *Flabellum*, заселяющие участки склонов Мадагаскарского и Мозамбикского хребтов, в поверхностном слое над которыми обилие зоопланктона то же (25—50 мг/м³), что и над хребтом Маркус-Уэйк, представлены двумя адаптационными вариантами. К первому относятся виды *F.messum* и *F.lowekeyesi* (глубины 400—1000 м). Скелеты обоих имеют глубокую и широкую чашку с глубоко изрезанным чашечным краем и высоко выступающими над ним септами. Оба вида по строению очень близки к виду *F.marcus*. Широко распространена здесь и вторая, более глубоководная группа, в которую входят виды *F.apertum* и *F.japonicum bytios* (глубины 863—1720 м). Эти виды, также обладающие открытой глубокой чашкой и хрупким тонким скелетом, пошли по иному адаптационному пути и сформировали наиболее сильно (среди представителей рода *Flabellum*) уплощенный кораллит, имеющий низкую куполоидную форму. Морфологически оба эти варианта наилучшим образом приспособлены к улавливанию и перевариванию пищи в условиях ее дефицита.



Юго-западная часть Индийского океана, район Мозамбикского и Мадагаскарского подводных хребтов.

На мелководьях же, в неширокой прибрежной высокопродуктивной полосе у Южной Африки, распространены виды рода *Flabellum* с узким коническим кораллитом, который всегда имеет плотный скелет и гладкий чашечный край.

Таким образом, под влиянием сходных условий жизни, в первую очередь недостатка пищи, в различных семействах параллельно возникают виды со сходными приспособительными чертами. Следует подчеркнуть, что в обычных условиях, в неглубоких водах с нормальной продуктивностью, обитают виды самого разнообразного морфологического строения. Однако при постоянном дефиците пищи выживают лишь те из них, строение которых изначально было приспособлено к существованию в таких условиях. Поэтому для реального воссоздания экологической обстановки необходимо анализировать сообщество, населяющее данный участок морского дна в конкретном районе в целом. Обнаружение в его составе отдельных видов с высоко выступающими над широко открытой чашкой септами еще ни о чем не говорит. Но преобладание видов с таким строением скелета дает возможность предположить, что они существуют в условиях относительно низкой продуктивности вод. Это позволит нацелить исследователей обстановок осадконакопления геологического прошлого на поиски и других свидетельств глубоководности изучаемого участка палеобассейна. ■

Еще раз о кремнях

Резюме

В.Г.Кузнецов,

доктор геолого-минералогических наук

Российский государственный университет нефти и газа им.И.М.Губкина
Москва

В «Природе» за 2014 г. (№3. С.84—87) была опубликована интересная статья В.Н.Комарова с интригующим, но, в общем, справедливым названием «Многоликие кремни». Хочется добавить еще некоторые «лики», а читателя, возможно, заинтересуют дополнительные сведения об этих удивительных камнях.

Действительно, кремни сыграли весьма значительную роль в развитии человечества. Они привлекали внимание первобытных людей способностью раскалываться на остроугольные куски, которые служили первичными скребками, ножами, наконечниками для стрел и копий. Некоторую конкуренцию им могло составить лишь вулканическое стекло — обсидиан. Но он распространен неизмеримо меньше, сугубо локально по сравнению с широко встречающимися кремнями. Более того, археологические находки говорят о том, что древнейшие обитатели современного Египта сначала освоили именно кремни и лишь спустя много веков начали применять обсидиан.

Итак, уже человек каменного века (палеолита) использовал не любой камень, а искал, выбирал и обрабатывал именно кремни. Отсюда естественный вывод: профессия геолога — одна из древнейших в мире.

В вопросе о происхождении кремней есть (по крайней мере) несколько аспектов: источники кремнезема, способы и время их образования. Это в значительной степени и определяет состав, форму, внутреннее строение и расположение кремней в породах. Мы рассмотрим образцы из карбонатных (известняков и доломитов) и немного из глинисто-карбонатных толщ.

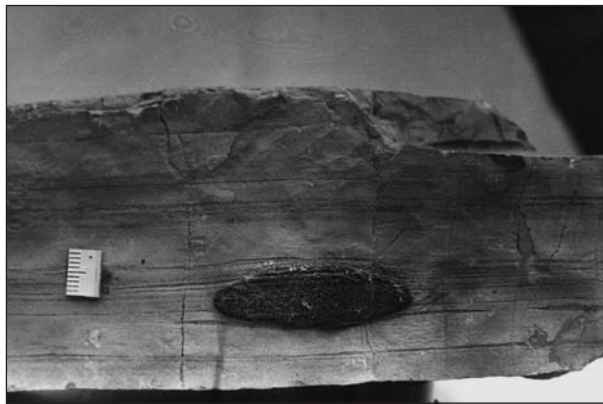
Термин «кремни» включает две важные характеристики. Во-первых, состав, т.е. указание на то, что они сложены минералами кремнезема, и во-вторых, особую форму нахождения — конкреции, которые характеризуются обособленностью данного минерального вида от вмещающих отложений. Кроме кремневых бывают конкреции и иного минерального состава — карбонатные, фосфатные, сульфидные, железомарганцевые и др. В более узком смысле конкрециями называют образования, рост которых происходит от центра к периферии. В противном случае (при росте от

периферии к центру) возникают секретиции. Различить их далеко не всегда просто.

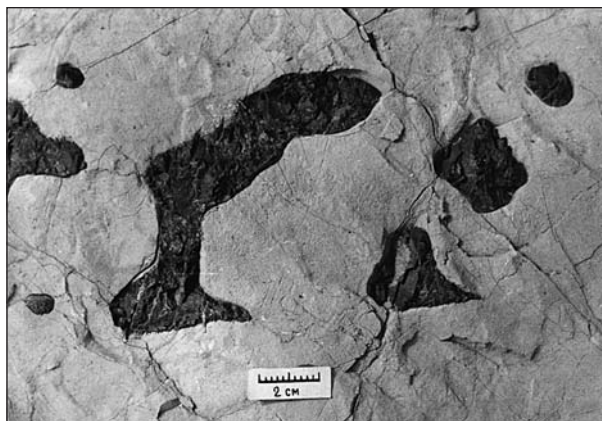
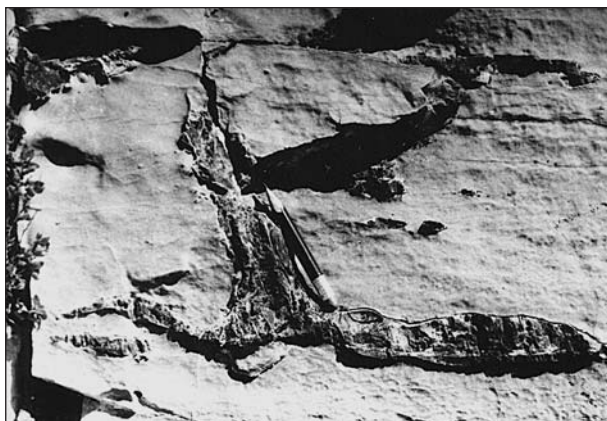
По-видимому, главный источник кремнезема — скелеты организмов с кремневой функцией, т.е. строящие свой скелет из аморфного опала. Это диатомеи, радиолярии и в меньшей степени губки. Нередко осадки обогащены органическим материалом за счет разложения живого вещества тех же организмов. В таких случаях вмещающие породы и содержащиеся в них кремни обычно темно-серого и черного цвета.

В карбонатном водонасыщенном осадке, куда попадают опаловые скелеты, создается щелочная среда, в которой кремнезем активно растворяется. По мере обезвоживания осадка и протекания сложных химических процессов геохимическая обстановка меняется, и растворенный кремнезем, стягиваясь (часто вокруг организмов и их скелетных остатков), начинает осаждаться в виде коллоидального опала, который со временем перекристаллизуется в халцедон, а позднее и в кварц. Подобные диагенетические кремни имеют чаще всего овальную, удлиненную форму и располагаются практически параллельно наслоению вмещающей породы.

Встречаются и более поздние катагенетические образования, которые формируются уже в твердой породе. Они нередко секут слоистость



Овальная кремневая конкреция, расположенная согласно слоистости. Верхняя юра, оксфордский ярус, Северная Осетия.



Секущие слоистость катагенетические кремни. Длина карандаша 8 см. Верхняя юра, оксфордский ярус, Северная Осетия.

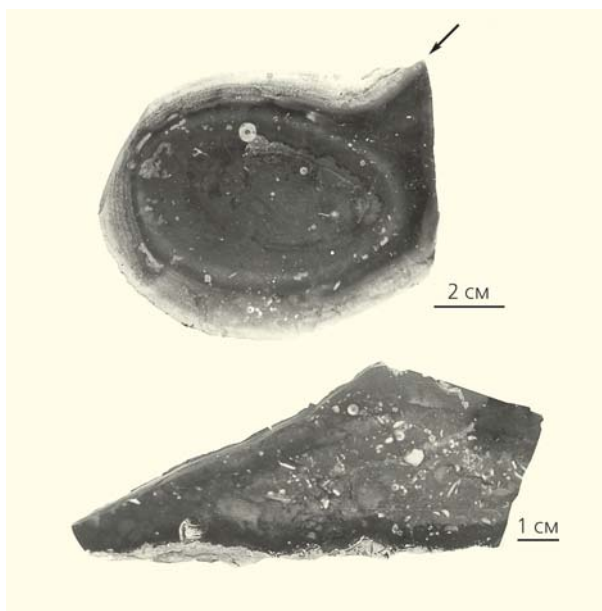
вмещающей толщ и приурочены к трещинам и другим нарушениям первичного строения отложений. В карбонатных и карбонатсодержащих породах геохимические обстановки могут достаточно быстро и существенно меняться, в частности при фильтрации пластовых вод, что и приводит к перераспределению кремнезема и образование более поздних стяжений.

В более редких случаях источником кремнезема служат кварцевые и силикатные (кремнийсодержащие) обломочные зерна в карбонатных породах. Подобная ситуация чаще встречается в породах, содержащих наряду с кальцитом CaCO_3 то или иное количество доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Дело в том, что карбонаты магния осаждаются в более щелочной среде, нежели карбонаты кальция. Это способствует более активному растворению силикатных зерен (в том числе и кварца) с дальнейшим формированием кремневых стяжений.

Наконец, существует еще один источник кремнезема, обусловивший формирование кремней, в частности, в Подмоскowie. Там в породах среднего и верхнего карбона встречаются разнообразные по форме, цвету, величине и внутреннему строению разновидности. Многолетние и целенаправленные исследования не обнаружили в местных породах никаких следов организмов, которые могли бы поставлять материал для образования этих камней. Формирование здесь кремней произошло не менее чем через 150 млн лет после накопления карбонатных осадков.

В мезозое (юре или мелу), в условиях гумидного климата, происходило глубокое химическое выветривание юрских глин, т.е. вынос из них кремнезема, который и поступал в подстилающие карбонаты, где перераспределялся, формируя различные кремневые образования. Иногда сама форма кремней и расположение в них цветных каемок показывают направление приноса вещества. Надо сказать, что далеко не всегда происходит полное замещение карбонатного материала кремнеземом. В халцедоновой основной массе неред-

ко сохраняются остатки кораллов, членики морских лилий — криноидей, представляющие собой монокристаллы, более устойчивые к замещению кремнеземом, чем микро- и тонкозернистая основная масса. В крупных стяжениях кремнезема могут сохраняться реликты вмещающих фораминиферовых известняков. Поскольку эти процессы происходили на небольших глубинах (т.е. по сути дела были приповерхностными), большинство



Кремневые конкреции в среднекарбонных известняках Подмоскowie. Вверху — овальная конкреция. Конфигурация ее разноокрашенных каемок и небольшой боковой выступ (обозначен стрелкой) показывают место поступления растворов кремнезема. В сплошной халцедоновой массе сохранились сложенные кальцитом членики морских лилий. Внизу — четырехугольная конкреция с темной периферической каемкой и более светлой центральной с реликтами не замещенных кремнеземом члеников морских лилий и обломков раковин брахиопод.



Некоторые формы кремневых конкреций. Слева — «кокон тутового шелкопряда». Верхний карбон, Подмосковье. Справа — «карнавальная маска» или «гадкий утенок» (далее фантазия читателя). Верхний мел, о.Рюген (Германия).

образцов имеют желтоватый, красноватый и бурый цвет, что обусловлено нахождением здесь окислов трехвалентного железа.

Форма кремней чрезвычайно разнообразна. Диагенетические и многие катагенетические различия, как правило, округлые, линзовидные, но встречаются и весьма причудливые образования. В верхнекаменноугольных карбонатных породах гжельского карьера (ныне рекультивированного) находили кремни, напоминающие различных зверушек, в том числе смешных вислужих крольчат.

Как мы уже отмечали, центрами кремневых стяжений часто служат остатки организмов, а иногда кремнезем заполняет их камеры, образуя характерные слепки с древних животных.

Один из самых оригинальных образцов был найден недалеко от пос.Одинцово. В итоге он оказался у любителя камня — доктора Григорovichа. В конкреции четко выделялись два полуша-

рия, мозжечок, основание мозжечка и поверхностные извилины. Последних, правда, оказалось маловато — не более полутора десятков. Этот образец побывал даже на Европейском медицинском съезде в Вене. Однозначного мнения о природе данного объекта у специалистов не сложилось, но ряд медиков подтвердил его высокое подобие мозгу древнего примата. Поскольку конкрецию нашли в ледниковых отложениях, она даже получила название «мозг человека ледникового периода». Специальная комиссия Академии наук установила абиогенное происхождение камня, который, хотя и был найден в четвертичной морене, изначально сформировался в известняках карбона.

«Сморщенная» поверхность подобных стяжений обусловлена способом образования самих кремней. Сначала возникают гелеобразные сгустки аморфного кремнезема. Затем, теряя воду и последовательно кристаллизуясь, они сокращаются



образцы с «морщинистой» поверхностью — результатом усыхания и сжатия при кристаллизации первично коллоидного стяжения. Слева — крупные извилины и мелкоячеистая поверхность. Справа — поверхность пустотелой секреции («хитрый глаз, нос картошкой и обиженный рот»). Верхняя юра, титонский ярус, окрестности Кисловодска.



Внутренне строение некоторых секретий: *а* — сферические опаловые выделения в халцедоновой оболочке, поверхность которой покрыта щеточкой мелких кристалликов кварца. Палеоген (?), Ферганская впадина (Узбекистан); *б* — изометричная халцедоновая секрция, на стенках ее внутренней полости располагаются мелкие кристаллики кварца и крупный пластинчатый кристалл целестина (SrSO_4). Верхняя юра, титонский ярус, окрестности Кисловодска; *в* — мелкая пустотка в агатовидном кремне, инкрустированная кристалликами аметиста. Средний карбон, Подмосковье; *з* — агатовидное строение внутренней части халцедоновой конкреции. Верхняя юра, титонский ярус, окрестности Кисловодска.

в объеме. В этих условиях часто формируются так называемые трещины синерезиса, которые и создают столь причудливые различия.

Разнообразно, наконец, и внутреннее строение кремневых стяжений. В большинстве случаев они представляют собой однородные плотные массы. Но встречаются образцы, центральная часть которых сложена мелкими шариками — «икринками» опала размером около 1 мм, а на внешней поверхности халцедоновой оболочки формируется корочка из пирамидальных кристалликов кварца. Бывает и наоборот: внешняя оболочка представлена халцедоном, а внутри сохраняется пустота. И уже в этой полости происходит минералообразование, причем не обязательно кремневого состава. Так, внутри подобных секретий формируются хорошо ограненные кристаллы кальцита и гораздо реже — целестина SrSO_4 и других минералов.

Однако чаще всего стенки внутренних полостей халцедоновых кремней инкрустируются кристаллами кварца. Близ села Русавкина в подобных пустотках находили бледно-фиолетовые подмосковные аметисты. Очень красивы и агатовидные

конкреции, сплошные или с небольшими отверстиями внутри.

Известны и не менее интересные образцы. Выдающийся отечественный геолог Л.В.Пустовалов в одной из своих лекций рассказывал о конкреции, обнаруженной в предвоенные годы в карбонатном карьере недалеко от Подольска. Во время обеденного перерыва рабочие указали молодому, только что пришедшему новичку на огромное кремневое стяжение и начали его подначивать: «Ты здоровый, сильный — разбей вон ту глыбу». Расколоть такое монолитное образование невозможно, но заведенный и не знающий этого рабочий берет кувалду, со всей силой бьет, и... камень раскалывается на многочисленные куски. Глыба оказалась пустотелой с чистейшими кристаллами горного хрусталя размером в несколько сантиметров на стенках.

Приведенные мной данные далеко не исчерпывают всех сведений о столь распространенных и одновременно удивительных кремнях. Можно, наверное, написать целую поэму об их окраске, образовании агатов и многом-многом другом, столь же интересном. Язык автора для этого слишком беден. ■

Китайский вариант

П.П.Федоров,

доктор химических наук

*Институт общей физики им.А.М.Прохорова РАН
Москва*

А.И.Попов,

кандидат химических наук

Компания «Cardinal Intellectual Property»

Астон (Пенсильвания, США)

Много сказано в последнее время о бедственном положении российской науки. Для получения объективной картины интересно сопоставить положение России и Китая в области науки посредством анализа некоторых библиометрических показателей.

После китайской революции 1949 г. на протяжении 15 лет Советский Союз оказывал КНР всестороннюю помощь в развитии науки и промышленности. Эта помощь включала и самоотверженный труд советских ученых: среди множества отечественных специалистов, поехавших в Китай, можно назвать такие имена, как Н.Н.Шефталъ — специалист в области роста кристаллов, П.И.Федоров — химии и технологии редких и рассеянных элементов, физико-химического анализа, М.Х.Карпетянц — химической термодинамики. Тысячи китайских студентов и аспирантов обучались в советских вузах. Во всех случаях отмечались выдающиеся работоспособность и прилежание китайских учеников, которые как губка впитывали знания.

Затем последовал фактический разрыв отношений и культурных связей в 1964 г. в связи с «культурной революцией» в Китае. Страна погрузилась во мрак почти на 20 лет. Особенно тяжело было положение интеллигенции [1]. Тем не менее китайская наука не умерла и в конечном счете стала основой достижений страны в атомной и военно-космической областях. В начале 1980-х годов в Китае постепенно началось возрождение, в том числе была принята долговременная программа посылки молодых ученых в другие страны. Практиковались длительные командировки, причем конкурс на право поехать за границу составлял почти 100 человек на место. В 1982 г. один из авторов данной статьи беседовал во Франции с профессором Ли Ю-мо из Чанчуньского института прикладной химии: «Зачем вы посылаете молодежь за границу? При такой разительной разнице в уровне жизни они же не вернуться?» — «Они всегда останутся китайцами и рано или поздно, так или иначе, все равно вернуться».

В 1988 г. (когда один из нас посетил по приглашению АН КНР основные научные химические и физические центры Пекина, Шанхая и Чанчуня) уровень науки по некоторым показателям, в том числе по оснащению современным оборудованием, уже был сравним с советским. При этом в академических институтах обучалось поразительно много аспирантов. Языковая подготовка, конечно, сильно отставала.

На рубеже 80-х и 90-х годов в СССР и Китае происходили схожие политические процессы, но в Китае, в отличие от Советского Союза, нашлись лидеры (в первую очередь Дэн Сяопин), не допустившие краха страны и нашедшие способ вести ее по пути модернизации. Острая конкуренция в научной сфере в сочетании с востребованностью научных результатов в развивающейся промышленности стали стимулирующими факторами развития китайской науки. Визиты последних лет в КНР оставляют яркие впечатления от стремительного развития как страны в целом, так и ее научных учреждений, в том числе с точки зрения приборного оснащения.

Быстрое и демонстративное уничтожение прикладной науки, последовательное планомерное многоуровневое разрушение системы образования, постепенное и мучительное раздавливание науки фундаментальной при отсутствии скольконибудь приемлемого финансирования, под дымовой завесой разговоров о перестройке, фактическое превращение ее в карманный представительский кукольный вариант — таковы, к глубокому сожалению, реалии российской действительности на протяжении последних двух десятилетий.

Мы хотим на примере Китая, опираясь на библиометрические данные, проиллюстрировать национальные научные достижения, а именно проследить характер изменения во времени числа публикаций российских и китайских авторов в научных журналах.

Принадлежность авторов статей к китайским и российским учреждениям определялась с помощью ключевых фраз в категории (поисковом поле) «адрес»: China* OR Chine* для Китая и Russia* для России. При поисках данных 1990—1992 гг.

также учитывалась возможность указания адреса в СССР вместо России, т.е. использовалась составная ключевая фраза USSR* OR SOVIET* OR RUSSIA* (после 1992 г. в журналах перестали указывать советские адреса).

Для российских авторов мы также определили количество статей с зарубежными соавторами из так называемого дальнего зарубежья: в качестве иностранных авторов учитывались зарубежные специалисты с адресами за пределами стран СНГ. Мы полагаем такой подход справедливым и допустимым в силу того, что редакционно-издательская политика международных журналов в отношении ученых из стран СНГ практически идентична: и российских специалистов, и ученых из других государств Содружества там считают конкурентами и существенно ограничивают в возможности публиковать свои работы. Если у работы был всего лишь один автор, который указывал более одного адреса (т.е. российский и зарубежный адреса), такой автор считался российским, а статья зачислялась в категорию «написанных российскими учеными без иностранного соавторства». Однако если у статьи было несколько авторов, то наличие хотя бы у одного из них дополнительного иностранного адреса за пределами СНГ рассматривалось как международное сотрудничество, и такая работа учитывалась как статья с иностранным соавторством.

В своих библиометрических поисках мы использовали базу данных Web of Science — Core Collection (ранее известную как просто Web of Science). Мы выбрали ряд известных специализированных периодических научных изданий второго и третьего ряда, поскольку наиболее цитируемые высокорейтинговые журналы первого ряда, как правило, многопрофильны (т.е. публикуют статьи в самых различных, не связанных между собой областях человеческого знания), а также отличаются высокой политической ангажированностью [2]. Кроме того, основная масса исследовательских работ и подавляющее большинство авторов публикуются именно в журналах второго и третьего ряда. Мы также ограничились изданиями в наиболее близкой нам области неорганической химии и материаловедения и проанализировали динамику изменения количества статей с 1990 до 2013 г. в следующих периодических изданиях (в скобках указано изменение импакт-фактора журнала за 1997—2012 гг.; курсивом отмечено изменение импакт-фактора за 2000—2012 гг):

«Chemical Communications» (3.200—6.378),
 «Materials Research Bulletin» (0.938—1.913),
 «Journal of Fluorine Chemistry» (0.714—1.939),
 «Journal of Materials Chemistry» (1.810—5.968),
 «Journal of the American Chemical Society» (5.650—10.677),
 «Inorganic Chemistry» (2.736—4.593),
 «Dalton Transactions» (2.251—3.806),

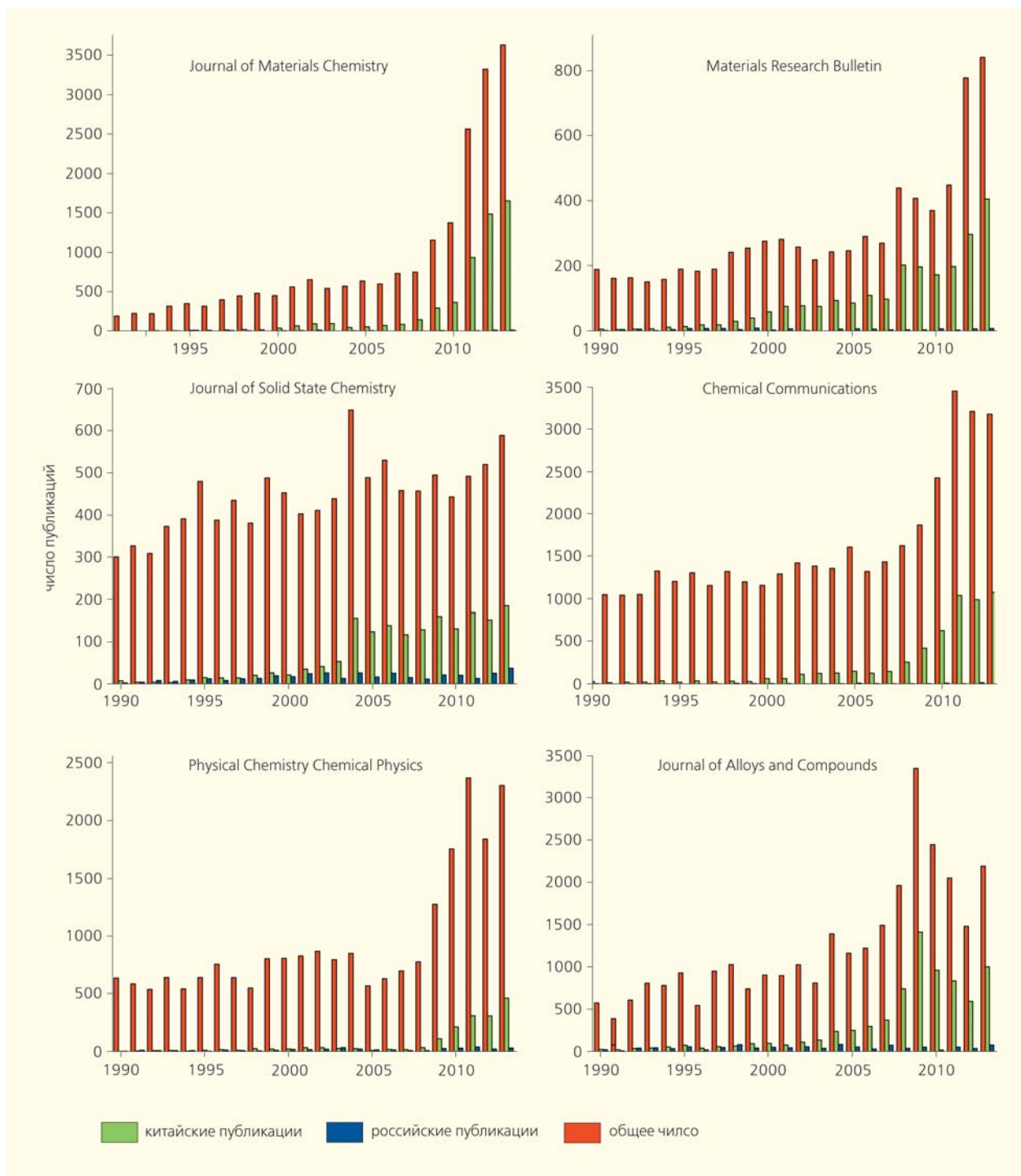
«Physical Chemistry Chemical Physics» (1.708—3.829),
 «Journal of Solid State Chemistry» (1.486—2.040),
 «Journal of Non-Crystalline Solids» (1.017—1.597),
 «Journal of Alloys and Compounds» (1.035—2390),
 «Journal of Crystal Growth» (1.259—1.552),
 «Journal of Chemical Physics» (3.247—3.164),
 «Angewandte Chemie» (8.560—13.734),
 «European Journal of Inorganic Chemistry» (2.222—3.120),
 «Physical Chemistry Chemical Physics» (1.653—3.829),
 «ChemPhysChem» (4.217—3.349),
 «Journal of the American Ceramic Society» (1.457—2.107),
 «Journal of the European Ceramic Society» (0.913—2.360),
 «Journal of Physical Chemistry», секции А, В, С.

Выбор временного интервала был связан с особенностями отбора первичных источников информации для Web of Science, и в первую очередь, с включением в эту базу данных материалов конференций.

Полученные нами данные выборочно представлены в графическом виде на рисунках*.

Хорошо известно, что существует серьезная проблема с публикацией статей российских ученых в международных журналах. Она имеет исторические корни [2] и связана с рядом причин. Среди них языковой барьер, стиль изложения (в международных журналах принято гораздо более подробное, чем в отечественных, так сказать разжеванное, изложение материала, в том числе методик эксперимента и обсуждения результатов), различия в понимании исторического вклада тех или иных ученых в соответствующую область знания (зарубежная историография во многих случаях категорически не совпадает с российской). Очень существенно для исследователей отсутствие доступа к современному лабораторному оборудованию, которое только частично может быть скомпенсировано более широким и фундаментальным подходом к научным проблемам, характерным для отечественных работ. Однако главное обстоятельство видится в том, что ведущие научные журналы фактически закрыты для российских ученых. Этот вопрос с конкретными примерами (количество которых можно умножить) разобран в нашей предыдущей статье [2]. К российским ученым в целом относятся как к конкурентам, причем конкурентам, представляющим незначительный научный интерес. Сплошь и рядом возникают ситуации, когда посланная в журнал статья не доходит до рецензирования, а сразу отклоняется менеджером из аппарата редакции.

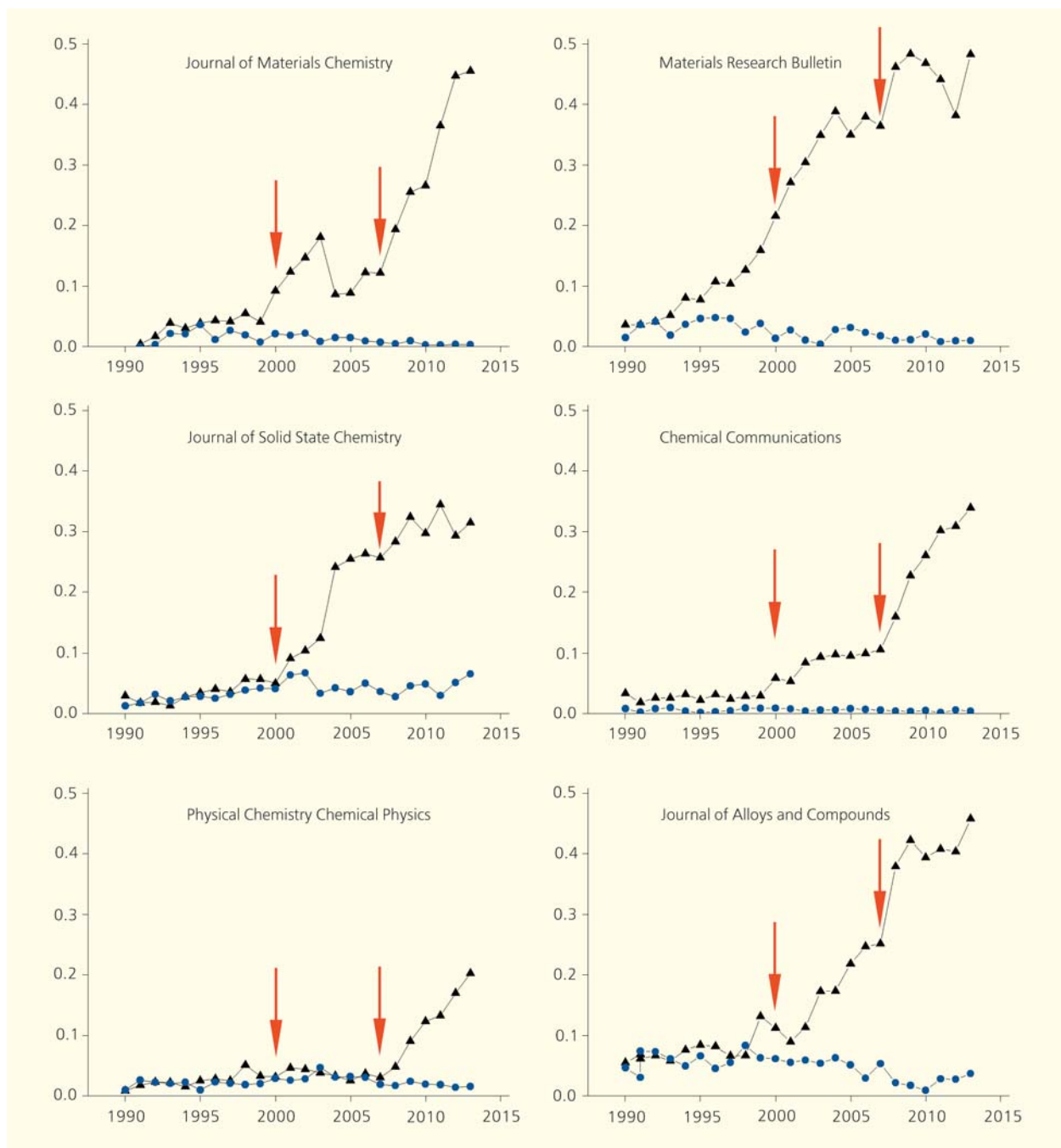
* Используемые для построения рисунков полные табличные данные доступны на сайте www.pavel-fedorov.sitcity.ru.



Динамика публикаций статей в некоторых журналах в области неорганической химии и материаловедения.

Большинство периодических изданий с 1990 г. существенно увеличило количество публикуемых статей. При этом практически во всех вышеупомянутых журналах произошло резкое увеличение числа работ китайских авторов при практически постоянном или незначительно возросшем количестве статей российских ученых. Единственный

журнал, в котором мы не наблюдали существенного роста вклада китайских ученых, это «Journal of Fluorine Chemistry». Заметим, что речь идет не об этническом происхождении специалистов, а о формальной аффилиации авторов научных статей: поиск проводился исключительно с учетом адресов авторов статей.



Относительная динамика публикаций российских и китайских работ в некоторых журналах в области неорганической химии и материаловедения. На графиках для каждого журнала показана доля публикаций китайских (линия с треугольниками) и российских (линия с кружками) публикаций по отношению к общему количеству учтенных работ. Красными стрелками отмечены годы управляющих воздействий правительства КНР, направленные на развитие науки.

Как указывалось выше, 25–30 лет назад китайская наука находилась ни в коем случае не в лучшем положении по сравнению с современной ей советской наукой. Однако в силу целенаправленной, взвешенной и многосторонней государственной научной политики китайские ученые стали все больше и больше публиковаться в междуна-

родных изданиях и смогли в определенной степени преодолеть предвзятое отношение к своим работам. Необходимым условием этого, несомненно, был соответствующий качественный уровень этих работ. Если несколько лет назад многие китайские статьи резали глаз своей примитивностью, то теперь, в общем, так уже не скажешь.

Представленные данные однозначно указывают, что китайские ученые усвоили «правила игры», существующие в англоязычных международных журналах и в издательской деятельности. Они больше публикуются сами, чаще оказываются на руководящих и контролирующих должностях в редколлегиях периодических изданий. И они применяют те же подходы к затруднению публикаций научным конкурентам из других стран, что ранее использовались и используются до сих пор их западными коллегами. При этом уже нет речи о конфуцианской этике, в ходу такие грязные приемы, как не цитирование чужих работ, заимствование результатов без цитирования, жесткое выталкивание конкурентов. Свежий пример: в 2014 г. в связи со сменой главного редактора «Materials Research Bulletin» этот журнал и его редакционная коллегия попали под контроль специалистов из КНР. Тут же последовали отклонения статей российских авторов под надуманными, а иногда чуть ли не хамскими предложениями*.

В последнее время часто высказывается мнение, что нужно больше оглядываться на Китай, учиться его опыту, переориентироваться на него. Такой подход, конечно, разумен с точки зрения перенимания китайского опыта (как показывают представленные графики, такому прогрессу действительно стоит поучиться), но надо заметить, что такая переориентация опасна с точки зрения интересов российских ученых и российской науки. Китай действительно хорошо усвоил опыт, традиции, стиль и подходы западной науки. На-

* Примеры переписки приведены на указанном сайте.

Литература

1. Юн Чжан. Дикае лебеди. СПб., 2008.
2. Федоров П.П., Попов А.И. Взаимосвязь показателей цитирования российских ученых // Вестник РАН. 2014. Т.84. №3. С.222—232.

столько хорошо, что в научной политике стал во многом успешно переигрывать своих учителей. Из представленных сведений о росте абсолютно и относительного количества китайских научных статей можно сделать вывод, что Китай не колеблясь обходит и заглушает любую конкуренцию со стороны российской науки (т.е. своих «учителей»), просто вытесняя российские публикации из международных изданий (справедливости ради надо сказать, что это равным образом относится и к работам из третьих стран). Масштабное укрепление позиций китайских специалистов в редакционных коллегиях и издательских советах, произошедшее в последние годы, вполне позволяет им применить этот административный ресурс. Поэтому желающим переориентироваться на Китай стоит задуматься о том, что в предстоящей конкуренции они столкнутся с еще более жесткими административными барьерами со стороны китайцев, чем те, которые им приходится преодолевать, имея дело с коллегами западными.

В связи с изменившейся внешнеполитической ситуацией можно ожидать изменения и государственной политики по отношению к науке в России, поскольку обеспечение военной безопасности страны невозможно без соответствующего уровня развития не только промышленности, прикладной науки, но и науки фундаментальной. При этом с персональной точки зрения для российских ученых необходимо активно выходить на международный уровень со своими публикациями на английском языке для ознакомления как можно более широкого круга специалистов со своими работами, несмотря на имеющиеся здесь трудности [2].■

«Конечно, будем знать» К 150-летию со дня рождения Дмитрия Иосифовича Ивановского

Немного найдется людей, которые завещали бы потомству безупречно чистый и светлый нравственный образ, на который даже клевета врагов не могла бы набросить тень.

К.А.Тимирязев

Д.А.Гапон,
кандидат биологических наук,
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

Юности свойственно искать нравственные и культурные ориентиры, источники того знания о способах бытия, которое М.Полани определил как невяное. По большей части не находя такие ориентиры в повседневной жизни Ростовского университета, где прошли первые четыре года моей студенческой жизни, я невольно обращался к фигурам из прошлого, которые еще таинственным образом ощущались в стенах этого университета. Мое особое внимание привлекал тогда Дмитрий Иосифович Ивановский, профессор кафедры ботаники Донского (а еще ранее Варшавского) университета. Его небольшой портрет висел в одной из лабораторий, а его имя упоминалось на лекциях в связи с открытием вирусов. Но дело было даже не в самом открытии. При всем понимании его важности для меня оно имело значение больше как причина, благодаря которой сохранились и дошли до наших дней сведения о неординарной личности его автора. Не сделай Ивановский этого открытия, в чем-то случайного, свидетельства о нем как о человеке и ученом ушли бы в небытие. Мы ведь почти ничего не знаем о многих замечательных людях науки, культуры, живших и работавших как бы в другом, загадочном и малопонятном для нас теперь мире, погибшем подобно Атлантиде в водовороте чудовищных событий первой половины XX в. Чем больше я узнавал об Ивановском, тем сильнее становился мой интерес к его таланту исследователя, личным принципам и жизненной позиции, проявившимся в его непростой и во многом печальной судьбе.

Я хотел бы напомнить, а может быть, и рассказать благосклонному читателю что-то новое о Дмитрие Иосифовиче, этом замечательном ученом, жизненный путь и нравственный облик которого интересны и поучительны, особенно для нашего времени. Сейчас кажется необычной и странной его щепетильность в вопросах чести



Дмитрий Иосифович Ивановский.
9.XI(28.X)1864—20.VI.1920.

и собственного достоинства, неотделимая от тщательности и добросовестности в научной работе, даже если это идет вразрез с карьерными интересами. В эпоху господства мелочных и своекорыстных интересов может показаться безумным сделанный им выбор между перспективной должностью и необходимостью продолжить исследования, потому что их результаты были еще недостаточно надежны и ценны для науки. К сожалению, интерес биографов к фигуре Ивановского возник лишь через 20 с лишним лет после его смерти. За это время многие свидетельства о нем

были утрачены, чему поспособствовали Гражданская и Вторая мировая войны, а после — очевидно, политическая цензура и стремление сделать из него очередного классика «новой советской биологии». Тем ценнее каждый сохранившийся факт его биографии, каждое свидетельство знавших его современников. Именно такие, теперь снова почти позабытые факты я хочу представить читателю. Обзор же научных взглядов Ивановского и анализ разросшихся вокруг них политизированных интерпретаций я предполагаю изложить в отдельной публикации.

Жизненный путь

Дмитрий Иосифович (Осипович) Ивановский родился 9 ноября (28 октября*) 1864 г. в с.Низы** Гдовского уезда Санкт-Петербургской губернии, ныне не существующем, затопленном Нарвским водохранилищем в 1954 г. Отец его, Иосиф Антонович, происходивший из обедневших дворян Херсонской губернии, служил становым приставом 2-го стана Гдовского уезда в чине коллежского асессора. Дед Антон Осипович был подполковником армии. Дмитрий был младшим сыном в большой семье. Его самый старший брат, Николай, впоследствии стал ветеринарным врачом, второй брат, Алексей, — известным синологом, ординарным профессором Петербургского университета. Обоих братьев Дмитрий пережил: Алексей скончался в 1903 г. в психиатрической клинике, Николай — в 1910 г. Две сестры Дмитрия, старшая Лидия и младшая Ольга, погибли в 1942 г. от голода в Ростове-на-Дону во время немецкой оккупации.

Учился Ивановский первые годы, видимо, в Гдове, а затем, когда семья переехала в Санкт-Петербург, — в Ларинской гимназии, которую окончил с медалью в 1883 г. В августе того же года он поступил на физико-математический факультет Императорского Санкт-Петербургского университета. К тому времени отец умер, и семья жила очень бедно на вдовью пенсию в дешевой съемной квартире дома №13 по Петровской улице*** на тогдашней окраине Петроградской стороны. Поступив в университет, Дмитрий вынужден был подать ходатайство об освобождении от платы за обучение и о назначении стипендии. Причина сего указана в свидетельстве канцелярии Санкт-Петербургского градоначальника: «...проситель... состояния бедного, имущества у него, кроме необходимого, другого

никакого нет, имеет мать вдову Екатерину Александровну 48 лет, получающую пенсию по 372 рубля в год...» [1]. Ходатайство было удовлетворено, и Ивановский стал получать стипендию как успевающий студент.

В 1860-х — начале 1880-х годов естественное отделение физико-математического факультета в Санкт-Петербургском университете было одним из крупнейших научных центров страны. Там работали выдающиеся ученые, составившие гордость российской науки. Курс геологии читал А.А.Иностранцев, физическую географию — А.Е.Воейков, химию — Н.А.Меншуткин, почвоведение — П.А.Костычев, физиологию животных — И.М.Сеченов, специальный курс физиологии — Н.Е.Введенский, зоологию беспозвоночных — Н.П.Вагнер, позвоночных — К.Ф.Кесслер, ботанику — А.Н.Бекетов и физиологию растений — А.С.Фаминцын. Влияние двух последних, и особенно Фаминцына, привело Ивановского к выбору дальнейшей специализации. В 1887 г. Бекетов предложил ему заняться изучением болезней табака по заданию Вольного экономического общества. Дмитрий Иосифович согласился, и это решение определило всю его дальнейшую судьбу: привело сначала к безвестности и почти полному забвению, а потом посмертно возвеличило его имя.

Предприняв совместно со студентом В.В.Полловцовым в 1887 г. поездку на табачные плантации



В год окончания университета.

* Здесь и далее все даты до 1918 г. даны по старому стилю.

** В некоторых источниках можно встретить утверждение, что Д.И.Ивановский родился в Гдове, но сомнения на этот счет развеиваются выпиской о его рождении из метрической книги церкви с.Низы, хранящейся в Архиве РАН.

*** Ныне Лахтинская улица, на пересечении с Малым проспектом. Здание не сохранилось, на его месте в 1898 г. был возведен доходный дом по проекту С.П.Кондратьева.

Украины и Бессарабии, Ивановский в конце того же года выдержал устные испытания и 1 февраля получил диплом об окончании университета со степенью кандидата и отличными оценками по всем дисциплинам, кроме богословия, по которому у него было «хорошо». Через месяц он представил диссертацию «О двух болезнях табака», после чего А.Н.Бекетов и Х.Я.Гоби рекомендовали его для подготовки к профессорскому званию, охарактеризовав как «известного профессору А.Н.Фаминцыну за весьма трудолюбивого и талантливое молодого человека» (самому Фаминцыну, видимо, хлопотать о своем ученике не дозволялось). Ходатайство факультета было удовлетворено Управлением попечителя Петербургского учебного округа, и Ивановского оставили при университете на два года, но без стипендии. Понимая тяжелое материальное положение своего ученика, Фаминцын предложил ему подать прошение о предоставлении стипендии из специальных средств факультета. Однако, считая бесчестным получать оплату «в счет будущих благ» и опасаясь не оправдать возлагаемые на него надежды, Ивановский отказался. Позже, не желая огорчать Фаминцына, рассерженного и обиженного таким отказом, он подал соответствующее прошение, и 1 мая 1889 г. ему была назначена стипендия в 600 рублей сроком на два года (см. приведенные в конце статьи записи из дневника Дмитрия Иосифовича, сделанные им в марте-апреле 1889 г.). Очень тяготившийся этим содержанием Ивановский был рад избавиться от него, когда через год Фаминцын пригласил его на должность лаборанта организованной им Ботанической лаборатории Академии наук.

В 1889 г. Дмитрий Иосифович женился на Евдокии Ивановне Родионовой, дочери хозяйки квартиры, которую он снимал на Офицерской улице (ныне ул. Декабристов). В 1890 г. у них родился сын Николай. Стесненное материальное положение и необходимость содержать семью вынудили Ивановского в 1896 г. покинуть Ботаническую лабораторию и занять место преподавателя физиологии растений в Технологическом институте Императора Николая I, где преподавал до 1900 г.

В апреле 1890 г. срок подготовки к профессорскому званию Ивановскому продлили на год, однако закончить свою магистерскую диссертацию он все равно не успел. Его работа, посвященная изучению спиртового брожения, потребовала больших усилий и затрат времени на модернизацию лабораторных установок и кропотливые эксперименты. Защита диссертации «Исследование над спиртовым брожением» состоялась 22 января 1895 г. Утвержденный в степени магистра ботаники, Ивановский уже через два месяца начал читать лекции по физиологии низших организмов в Санкт-Петербургском университете в звании приват-доцента. Но это почетное звание не давало средств к существованию: приват-доценты получали не жалование, а лишь гонорар, который пла-

тили студенты за необязательный приват-доцентский курс (по 1 рублю в семестр за вычетом 1%). Год спустя Ивановский получил обязательный курс по анатомии и физиологии растений и занял переданную ему Фаминцыным кафедру. Так Дмитрий Иосифович стал числиться штатным приват-доцентом, получающим постоянный оклад, но при одном важном условии. Кафедру столичного университета, переданную магистру в виде исключения, он может занимать временно, в течение пяти лет, по истечении которых должен либо защитить диссертацию на степень доктора и получить звание профессора, либо передать кафедру другому. Кроме того, занимающий кафедру приват-доцент был ограничен в своих правах, например, не имел решающего голоса на заседаниях совета факультета и не мог самостоятельно распоряжаться средствами кафедры. Официальным представителем кафедры физиологии растений был назначен возглавлявший кафедру ботаники профессор Гоби. По словам современника, этот очень сухой человек, большой формалист, смотрел свысока на всех, кто не имел достаточно высокого чина и звания. Несмотря на то, что все эти ограничения доставляли Дмитрию Иосифовичу немало переживаний и беспокойств, перспективы его дальнейшего карьерного и научного роста в крупнейшем научном центре страны оставались довольно радужными. И они наверняка бы воплотились, если бы он не избрал предметом своей диссертации мозаичную болезнь табака. Столкнувшись с большими сложностями в поисках возбудителя этой болезни, которого не позволяли обнаружить стандартные методы микробиологии, претерпевая множество неудач, модифицируя раз за разом экспериментальные подходы, Ивановский все больше затягивал с завершением диссертации.

В 1901 г. истекли установленные пять лет, а диссертация все еще не была закончена. Совет факультета стал подыскивать новую кандидатуру заведующего кафедрой, со степенью доктора наук. Н.А.Меншуткин написал К.А.Тимирязеву, тоже бывшему ученику Фаминцына, работавшему тогда уже в Московском университете: «Так как Ивановский все не может представить докторскую диссертацию, под давлением Министерства у нас возник вопрос о замещении кафедры физиологии растений и назначена комиссия для рассмотрения кандидатов. Не пожелаете ли Вы быть представленным?» [2]. Тимирязев не пожелал, и кафедру предложили его ученику, молодому, но уже известному своими достижениями профессору Варшавского университета В.И.Палладину, на что тот охотно согласился. Ивановский же был «Высочайшим приказом по гражданскому ведомству от 14 сентября 1901 г. за №74 назначен экстраординарным профессором Варшавского университета по кафедре физиологии и анатомии растений», т.е. на место Палладина. Докторскую диссертацию «Мозаичная болезнь табака» Ивановский защитил



Диплом доктора ботаники, выданный Ивановскому после защиты диссертации «Мозаичная болезнь табака» в 1903 г. Государственный архив Ростовской обл. Ф.257. Оп.2.

в Киевском университете 16 марта 1903 г., и 1 мая того же года стал ординарным профессором. Больше к изучению возбудителя табачной мозаики и вообще к работам по микробиологии он никогда не возвращался.

Можно только догадываться, сколь огорчительным для Дмитрия Иосифовича был перевод в Варшавский университет, где возможности для исследовательской работы были значительно скромнее, чем в столице. И все же научных изысканий он не прекратил, занявшись изучением растительных пигментов. Это была совместная работа с М.С.Цветом, известным своим открытием метода хроматографии. Они были знакомы еще по работе в Ботанической лаборатории Фаминцына, и, оставляя Петербург, Ивановский предложил Цвету место на своей новой кафедре. Тогда Ивановского интересовало состояние пигментов в живом растении. Из его экспериментальных работ следовало, что в пластидах хлорофилл находится в коллоидном состоянии. Этим и объясняется различие спектров поглощения хлорофилла в растворе и в живом ли-

сте, а также устойчивость его при разрушающем воздействии света. А каротин и ксантофилл, как он заключил, выполняют в пластидах роль экрана, защищающего хлорофилл от разрушения преломляемыми лучами спектра. Кроме чтения лекций в Варшавском университете Дмитрий Иосифович преподавал на Высших женских курсах, заведовал Ботанической лабораторией и Варшавским помологическим садом (на общественных началах), был секретарем физико-математического факультета, входил в комиссию по «вспомоществованию недостаточным студентам» и много сил отдавал редакторской деятельности, будучи председателем редакционной коллегии «Варшавских университетских известий».

В 1911 г. супруги Ивановские испытали большое горе: умер их единственный сын Николай. Он тогда был студентом последнего курса Санкт-Петербургского (иногда ошибочно сообщается, что Московского) университета, избравшим по примеру отца специальность физиолога растений. Он как-то спросил Фаминцына, у кого ему следует продолжить работу после окончания университета, чтобы стать хорошим физиологом, на что тот ответил: «У вас есть отец — лучшего учителя вам не надо». Перед отъездом в Варшаву Николай простудился и серьезно заболел. Друг Николая написал его родителям, чтобы они срочно приезжали в Петербург. Ивановские застали сына уже в очень тяжелом состоянии и по рекомендации врачей увезли его в Крым. Прожив в Ялте две недели, Николай умер от скоротечной чахотки.

Во время Первой мировой войны, в 1915 г., из-за угрозы наступления немцев на Варшаву университет временно перевели в Ростов-на-Дону. Туда переехал и Дмитрий Иосифович. Спешно и плохо организованная эвакуация университета не позволила перевезти значительную часть лаборатории, которую он создавал долгие годы, другая же ее часть пострадала при транспортировке. Осталась в Варшаве и личная библиотека Ивановского, а также большинство его записей. Приходилось все начинать сначала: налаживать работу кафедры, организовывать новую лабораторию. Университет разместили в плохо приспособленных помещениях, а профессоров — в довольно тесных и неблагоустроенных квартирах. Дмитрий Иванович поселился в доме на пересечении Никольской улицы с Николаевским переулком (ныне Социалистическая ул., 87). Видимо, это единственный известный сохранившийся в России дом, в котором жил Ивановский. Тяжелые условия жизни и работы на новом месте, в условиях Гражданской войны, а также подорванное здоровье не позволили ему продолжать исследовательскую работу. Он читал лекции в университете, переименованном в 1917 г. в Донской, был редактором университетских известий и председателем отделения биологии Общества естествоиспытателей. Главным же трудом непродолжительного ростов-

ского периода его жизни стал учебник физиологии растений, подводивший итог его многолетней преподавательской и научной работы. Книга, составленная с необычным, историческим подходом в изложении материала, вышла ограниченным тиражом в 1919 г. Редактор второго издания учебника Н.Н.Худяков отмечает его как «несомненно, лучшее руководство по физиологии растений, и не только на русском языке».

Дмитрий Иосифович скончался 20 июня 1920 г. и был похоронен в Ростове-на-Дону, на Новопоселенском кладбище. Ныне его могила утрачена. В 1950-х годах на другом ростовском кладбище, Братском, был возведен кенотаф с его именем.

Штрихи к портрету

О жизни Дмитрия Иосифовича, протекавшей вне академических стен, мы почти ничего не знаем. Иных свидетельств, не вытекающих из формальных биографических материалов, — об особенностях его характера и личности, о тех незначительных или важных чертах, из которых складывается индивидуальность человека, сохранилось очень мало. Лишь несколько современников, знавших Ивановского лично, оставили краткие воспоминания, позволяющие в некоторой степени представить его нравственный облик. Краткую и вместе с тем емкую характеристику Дмитрия Иосифовича составил А.Ф.Флеров*, принявший кафедру своего замечательного предшественника через 15 лет после его смерти: *Человек он был сердечный, скромный, очень симпатичный и при своей большой учености держался как-то в тени и не стремился выставить себя вперед. Этим можно объяснить, что его величайшее открытие в свое время не было оценено и о нем вспомнили только теперь...* [3].

Самые ранние воспоминания, посвященные времени работы Ивановского в Санкт-Петербург-



Д.И.Ивановский в кругу друзей, Варшава, дата не известна. Е.И.Ивановская, ?, Д.И.Ивановский, ?, М.С. Цвет. Архив кафедры микробиологии и биохимии Южного федерального университета. Публикуется впервые.

ском университете, принадлежат его ученику Н.А.Максимову**.

Первую встречу со своим будущим учителем он описывает так: *Не без робости и смущений войдя в кабинет Ивановского, помещавшийся во втором этаже небольшого ботанического здания <...> я увидел перед собой довольно высокого художавого человека с нервным одухотворенным лицом и живыми пронизательными глазами. Узнав, что я уже давно и твердо решил избрать своей специальностью физиологию растений, Д.И. отнесся к этому моему решению очень сочувственно и охотно разрешил досрочно пройти практичес-*

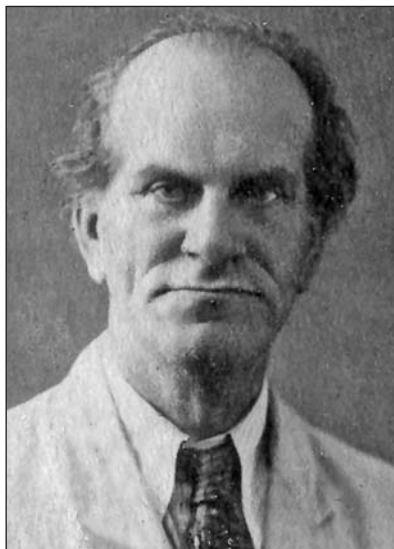
* Флеров Александр Федорович (1872—1960), болотовед, флорист и систематик растений, начинавший работу в лабораториях К.А.Тимирязева и В.И.Палладина, с 1935 по 1944 г. заведовавший кафедрой анатомии и физиологии растений Ростовского государственного университета.

** Максимов Николай Александрович (1880—1952), физиолог растений, академик АН СССР (1946), директор Института физиологии растений, преобразованного из Ботанической лаборатории А.С.Фаминцына.

кий курс анатомии растений, а затем и физиологии растений. Вспоминая о пребывании Ивановского в статусе приват-доцента, которому была поручена кафедра с условиями и ограничениями в правах, Максимов пишет: *...такое неполноправное положение доставляло много огорчений и неприятностей Д.И., усугублявшихся свойственными ему мнительностью и неуверенностью в своих силах. Ивановский всегда был человеком чрезвычайно щепетильным в вопросах чести и морали, в высшей степени деликатным и очень остро реагировавшим на всякого рода проявление грубости или пренебрежения к его достоинству [4].*

Сложные взаимоотношения с профессором Гоби, неприязнь которого усилилась из-за популярности среди студентов лекций Ивановского (на лекции Гоби студенты ходили «по наряду», по очереди) Максимов характеризует так: *Все это, конечно, чрезвычайно чувствительно отзывалось на психике Д.И. и усиливало и без того присущую ему повышенную нервность.* По словам Максимова, об отношении студентов к Дмитрию Иосифовичу говорит их решение объявить бойкот Палладину, сменившему любимого профессора. Лишь уверившись в достоинствах и научном авторитете Палладина, а также в том, что он не участвовал в закулисных интригах против Ивановского, студенты отказались от выступлений.

И.П.Керенский — ученик, и затем сотрудник Ивановского в Донском университете — оставил описание организации его лабораторной работы. *Нужно было видеть, с какой тщательностью ставил он всякий свой опыт, как следил за безукоризненной чистотой посуды и приборов, как он был требователен к чистоте реактивов. Уже один внешний вид лаборатории говорил о нем как об исключительно точном и до щепетильности аккуратном человеке. В лаборатории у него была идеальная чистота, все буквально блестяло; вся мебель была отделана в светлые цвета, все было на своих местах [5].* По словам вдовы Ивановского, в лаборатории Дмитрий Иосифович бывал ежедневно на протяжении всего года, кроме первого дня Пасхи. После переезда в Ростов-на-Дону, создавая заново почти полностью утраченную лабораторию, он заказал новую массивную, под цвет дуба, мебель, а также специально спроектированные им лабораторные столы для практических занятий. В новом помещении лаборатории было довольно скудное естественное освещение, и столы имели форму трапеций, обращенных к окну своей широкой стороной.



И.П.Керенский — сотрудник Ивановского. 1949 г. Публикуется впервые.

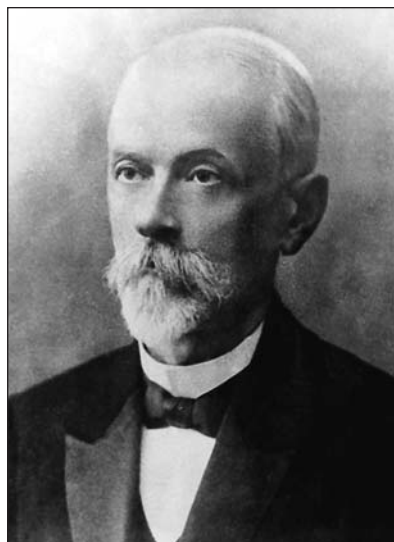
Максимов и слушавшие лекции Ивановского в Варшавском и Донском университетах И.П.Керенский и А.А.Приступа пишут, что он не блистал ораторским красноречием, не использовал особых риторических приемов, чтобы привлечь внимание аудитории, но все же был замечательным лектором. Читал он просто, словно вел беседу со слушателями, излагая при этом материал очень четко и ясно, строго продуманными, как говорили о нем, отчеканенными фразами. Его лекции были построены в историческом ключе: ставился какой-нибудь вопрос, и его решение неторопливо излагалось в последовательном развитии, с рассказом о борьбе различных взглядов, и уже затем сообщалось современное его состояние. Читая лекции, Дмитрий Иосифович будто впервые сталкивался с разбираемыми проблемами и самостоятельно пытался их решить, выдвигая гипотезы и пути их экспериментальной проверки, открывающие новые вопросы, которые требовали разрешения.

Г.М.Вайндрах так пересказывает неопубликованные воспоминания Керенского об этих лекциях. *Иногда, излагая какой-нибудь сложный и спорный вопрос, профессор делал вид, что он силится придумать опыт, который дал бы наконец определенный ответ на «проклятый» вопрос. Казалось, что он сам переживает растерянность. Он останавливается, он думает, а вместе с ним ломает голову вся аудитория. Это были интересные паузы в его лекциях; молчал в глубоком раздумье лектор, молчала и вся аудитория, а мысль у каждого работала. Затем молчанье прерывалось, и профессор начинал вслух и с некоторой неуверенностью предлагать разные пути для разрешения запутанного вопроса. Предложит какой-нибудь эксперимент, начнет его продумывать, обсудит — и вдруг покажет, что этим путем*

ничего нельзя выяснить. Опять пауза. Опять профессор делает вид, что он раздумывает: приложит руку к подбородку, пройдет за кафедрой, в раздумье остановится. Какое умственное напряжение переживала в эти минуты вся аудитория! Вдруг путь открывается, вопрос разъясняется, речь Ивановского становится бодрой, вдохновенной, аудитория сияет, каждый чувствует себя участником разрешения этого вопроса [3].

Интересные штрихи к портрету Ивановского добавляет и впечатление Керенского об актовой речи декана физико-математического факультета П.И.Митрофанова, в которой обсуждался знаменитый доклад Э.Дюбуа-Реймона с его пессимистичным утверждением «Ignoramus et ig-

porabimus» (не знаем и не узнаем). В этой речи *бодро прозвучало вопреки утверждениям Дюбуа Реймона: «Не знаем, но будем знать».* Эта бесконечная вера в науку, в силу человеческого знания так гармонировала с внешним видом профессора Митрофанова, с его упрямым орлиным взглядом, с его твердым и решительным характером. Ивановский не выступал с собственным докладом на эту тему, но было особенно приятно видеть, как он, маленький, худенький старичок, весь седой, крайне болезненный на вид, с энтузиазмом присоединялся к профессору Митрофанову, утвердительно кивая головой: «Конечно, будем знать», и весь при этом как-то просветлялся [3].



Последняя фотография.

До последнего года жизни Дмитрий Иосифович не оставлял чтения лекций в университете. В.А.Карницкий, в 1920 г. студент третьего курса, пишет, что в то время Ивановский часто и подолгу хворал и посещение его лекций было необязательным, поскольку студенты не всегда знали, когда он будет читать. После очередного перерыва на лекцию пришел несколько человек, а время спустя — лишь автор воспоминаний. Он спросил ассистента Е.А.Жемчужникова, состоится ли лекция, и тот, поговорив с Д.И., велел не уходить. Эти лекции Д.И. читал медленно, останавливался для отдыха, а последнюю дочитал с трудом.

Конечно же, здоровье Ивановского очень подорвала смерть единственного и любимого сына, после которой он, по словам современников, и без того замкнутый, сделался еще более отстраненным, очень мрачным и раздражительным. Однако, несмотря на такие перемены в характере, он, по словам Приступы, на время становился прежним, когда дело касалось близких его сердцу вопросов.

Максимов, навестивший своего старого учителя в Ростове-на-Дону, оставил одно из последних воспоминаний об Ивановском. *Это было в 1919 г., меньше чем за год до смерти Д.И. Я застал его уже совсем стариком, очень ослабевшим и болезненным, хотя ему в то время было всего 55 лет. <...> Ивановский встретил меня очень приветливо и рассказал, что работает главным образом над окончанием своего учебника физиологии растений, в котором хочет отразить весь свой многолетний опыт чтения курса физиологии растений в университете. Книга уже подходила к концу, и Д.И. с удовлетворением показывал мне последние корректурные листы. Большую помощь ему и в этом деле, и в работе по кафедре, и в житейских делах оказывал его последний ученик и ассис-*

тент Е.А.Жемчужников, приехавший с ним из Варшавы и заботившийся о нем, как об отце. Но здоровье Ивановского было уже сильно подорвано, и через несколько месяцев он скончался от болезни печени [4]. Лечивший Дмитрия Иосифовича профессор Мухин констатировал у него цирроз печени. Возможно, это был результат постепенной химической интоксикации реактивами, с которыми он всю жизнь работал. Известно наблюдение анонимного современника Ивановского, полученное Вайндрахом. *Правилен был или неправилен диагноз профессора Мухина, не знаю, но, узнав об этом диагнозе, я стал присматриваться к профессору Ивановскому и ясно видел у него желтушную ок-*

раску глаз. Кроме того, последние годы он был крайне раздражителен. Профессор Ивановский чувствовал приближение смерти; он с волнением жаловался на все растущий упадок сил, на утрату работоспособности. В его психике происходил резкий перелом под влиянием чувства приближающейся смерти [3].

К сожалению, Дмитрий Иосифович Ивановский не оставил собственных мемуаров, практически не сохранилось его писем. Мы ничего не знаем и, видимо, никогда не узнаем о его художественных вкусах, философских и общественно-политических взглядах. Некоторые современники отзываются о нем как о горячем патриоте, отстаивавшем приоритет русских ученых в тех или иных открытиях и самостоятельность российской науки. Авторы биографических публикаций об Ивановском, написанных в 40–60-х годах, разумеется, упорно пытались представить его как противника современного ему режима и сочувствующего революционному настроению. Однако у них это получилось плохо. Так, утверждение К.Е.Овчарова [6], что женитьба Ивановского на дочери политического ссыльного *характеризует его подлинные симпатии* к тем, кто боролся с произволом самодержавия, смехотворно. Утверждение, что он всю жизнь хранил *благочестивую память* об А.Ульянове, никак не подтверждается словами Ивановского. Он записал в 1889 г., что в острополитической ситуации его времени *есть только два пути: или путь Ульянова, или путь Фаминцына, Бородина*, и сам «пошел другим путем», не ульяновским. Максимов признавал, что *чрезвычайно мягкий и деликатный по своему характеру, Д.И.Ивановский, глубоко возмущаясь действиями полиции и царского правительства*, все же не мог полностью сочувствовать и насильственным, по его мнению, действиям *забастовщиков, заставлявших не участвовавших*

в забастовке студентов уходить из аудитории [4]. И уж конечно, вряд ли Ивановский сочувствовал революционным настроениям, когда в 1917 г. так называемый студенческий революционный комитет постановил отстранить ректора, профессора С.И.Вехова, а заведование всем университетским имуществом передать какому-то товарищу Райхману. Или когда в 1918 г. большевики на второй день после появления в Ростове-на-Дону выволокли на улицу его университетского коллегу, известного физика А.Р.Колли и, раздев, расстреляли, а затем глумились над его трупом. Можно только догадываться, как Дмитрий Иосифович относился к таким событиям, но сам факт, что какие-либо его записи об этом не дошли до наших дней, говорит, каким именно могло быть это отношение.

Фрагменты из дневника

Сегодня из известных биографических документов, наверное, самый богатый материал для понимания личности и душевного склада Ивановского дают страницы его дневника с записями размышлений и личных переживаний, которые он делал, по крайней мере, вплоть до 1891 г. После смерти автора этот документ хранился у вдовы или в университете в Ростове-на-Дону, где его видел Приступа, который использовал из него одну выдержку в своих воспоминаниях, напечатанных в 1965, 1966 гг. [7]. После войны дневник, видимо, попал к московскому микробиологу Вайндраху, который опубликовал некоторые его фрагменты в биографическом очерке об Ивановском, наверняка с цензурными купюрами 1949 г. [3]. Разыскать оригинал этого документа сейчас не представляется никакой возможности. Ввиду большой биографической ценности я привожу все известные фрагменты из этого дневника, расположенные, насколько это возможно, в хронологическом порядке и с сохранением исходной орфографии.

Лето 1887 г.

Достичь желаемого не трудно, но зато часто чрезвычайно трудно определить, чего ты хочешь (раз ты задал себе этот вопрос). Вот уже три года, как я стараюсь определить свои желания, но до сих пор тщетно.

Дата неизвестна

Счастлив человек, который, обладая силами, знает, чего он хочет. У меня есть силы, но я не знаю, что я хочу, — в этом мое несчастье. Когда я задал впервые себе этот вопрос, я был юношей, в котором зародилось лишь неопределенное желание делать, приносить пользу, получать славу. Первый триумф, чей бы то ни было, который я вижу, первая наружная прелесть, которая мне бросается в глаза... толкает меня на ложную дорогу... Проходит время, и я вижу, что это не по

мне, и снова я задаю себе роковой вопрос: так чего же я хочу. На чем остановлюсь. А я еще ищу этой области. И найду ли ... Тяжелое положение. Порой на меня находит отчаяние, и я хотел [бы] опуститься низко, жить сегодняшним днем.

Дата неизвестна

Я ужасно ревнив во всем или самолюбив.

13.III.1888 г.

Вчера в первый раз был на субботе у Бекетовых. Была по преимуществу молодежь — все бесчисленные дочери и племянницы Бекетова. Кроме одного, все были для меня совершенно новые лица. Вечер с 9 часов вечера до 3¹/₂ ночи прошел в болтовне, блиставшей одной бессодержательностью, игре (в письма какие-то) и угощении. Считают вечер неудавшимся, так как отсутствовали главные деятели — Кузнецов и Краснов А.** Иначе бывают танцы, а разговоры, хотя те же, но более одушевленные. Мне было скучно. Сколько ни прислушивался к разговорам, не только поддерживать их, но и слушать-то не хотелось. Часов в 11 пришли двое взрослых членов Вольного экономического общества. Между ними и Бекетовым завязался разговор — тоже пустой, но я мог слушать его без скуки. <...> Я не могу так веселиться. Я знаю, что также томлюсь ближайшими товарищами, когда почему-нибудь времяпровождение принимает такой характер. Мне нужно более содержания. Танцы мне не доставляют никакого удовольствия. Я не понимаю, как можно просидеть друг с другом весь длинный вечер и весь вечер болтать только пустяки и находить в этом удовольствие. Мне всегда нужно, чтобы речь доставляла какую-нибудь пищу уму, хотя небольшую, иначе я скучаю. А вечер, проведенный в пустой болтовне, отупляет меня.*

Видимо, тогда же

*Вчера было собрание биологического кружка. Я пришел к Олейникову, у которого в этот раз собиравшись рано, и потому не меньше 1¹/₂ часов провел в разговоре. Этот разговор был для меня очень приятен. Интересно сравнить его с разговорами у Б., о чем мы говорили. Тотчас вслед за мной к Олейникову зашел Соловьев по делу. Говорили о Заварыкине***, о том, как у него хорошо поставлены демонстрации, какой он грубый человек, о строении сетчатки (не из 7 слоев, как я думал, а из десяти) и о функции отдельных слоев. Соловьев расспрашивал меня о табачной работе;*

* Кузнецов Николай Иванович (1864—1932), ученик Бекетова, географ-ботаник.

** Краснов Андрей Николаевич (1862—1914/1915), ученик Бекетова, ботаник, почвовед, географ и палеоботаник.

*** Заварыкин Федор Николаевич (1835—1905), врач, гистолог, профессор кафедры нормальной гистологии Военно-медицинской академии.



Д.И.Ивановский проводит занятия со студентами в ботанической лаборатории Варшавского университета, дата не известна. Архив кафедры микробиологии и биохимии Южного федерального университета. Публикуется впервые.

шутил, что хорошо, если бы и его послали куда-нибудь, хотя как щедринских старичков. Пришел Орештейн и стал спрашивать Олейникова о вечере у Щиклевых. Тот передал бывший там доклад и прения (по женскому вопросу). По этому поводу у нас завязался очень оживленный обмен мыслей. В это время мы уже пили чай. Так как я на днях уезжаю и это собрание для меня последнее в этом году, то дали взаимно слово заботиться о сохранении биологического кружка, за лето приготовить сообщение, а будущей зимой постараться об увеличении числа членов. Пришел Варфоломеев. Орештейн начал свое сообщение «Психо-физиологический закон Вебера-Фехнера и его критики». Разошлись в 2 часа ночи.

17.III.1888 г.

С некоторого времени я решил, что я буду делать. Я занимаюсь физиологией растений. Как это произошло? Положа руку на сердце, я должен сказать: «Я только махнул рукой на остальные науки». В сущности я точно так же мог бы заниматься и некоторыми другими науками (зоологией, геологией, географией, химией), но только не всеми; даже на нашем факультете есть науки, которыми я не хочу заниматься (анатомия, гистология, эмбриология животных). Но я забыл думать о других науках и стал заниматься физиологией растений и чувствую себя очень хорошо.

Через полтора года к этой записи приписано: А теперь еще лучше.

2.II.1889 г.

Слышали вы, какую речь сказал Ону* на сходке! (12 декабря 1887 г.). «Вот хороший-то человек!»; «Какую речь-то Ону сказал!» и т.п. На этот лад без конца, всюду между знакомыми. Я тоже был на сходке и слышал речь, но когда мне говорят вышеприведенные фразы, мне становится как-то больно и стыдно. Я вспоминаю, как этот самый Ону попятился за спину другого студента, когда на сходку пришел ректор. Никогда не забуду лица этого студента: бледный, с болезненным видом, он стоял, сложив руки, против ректора и прямо смотрел ему в лицо. А Ону сделался таким маленьким, съезжился как-то весь, стараясь спрятаться за, увы, неширокую спину этого студента. Я до сих пор не могу забыть этого факта, он был слишком резкий, слишком очевидный. После этой сходки мне стало особенно ясно, что в этом вопросе есть только два пути: или путь Ульянова, или путь Фаминцына, Бородин. Середина — Ону, Клейбер и им подобные (которых легион) — отвратительна.

31/III 1889 г.

Очень интересный разговор вышел у меня с А.С. [Фаминцыным]. Нужно заметить, что он хлоп-

* Ону Александр Михайлович (1865—1935), студент историко-филологического факультета Санкт-Петербургского университета, участник студенческих волнений, впоследствии историк; умер в эмиграции.



Д.И.Ивановский среди профессоров физико-математического факультета Варшавского (Донского?) университета, между 1909 и 1916 гг. Стоят: зоолог Яков Павлович Шелкановцев (1870—1938), физик Андрей Робертович Колли (1874—1918), ?, математик Дмитрий Дмитриевич Мордухай-Болтовской (1876—1952). Сидят: ботаник Викентий Фердинандович Хмелевский (1860—1920), Д.И.Ивановский, химик Венедикт Викторович Курилов (1867—1921), гистолог и эмбриолог, декан факультета Павел Ильич Митрофанов (1857—1920), геолог и минералог Алексей Михайлович Зайцев (1856—1921), астроном Сергей Данилович Чёрный (?). Архив кафедры микробиологии и биохимии Южного федерального университета. Публикуется впервые.

чет для меня стипендию магистранта. Я было согласился на это, так как никого другого в виду не имеется, но собственные неудачи в работе (до сих пор я ничего не сработал), неудачные диспуты брата (см. статью в «Неделе»), все это произвело на меня очень угнетающее впечатление, и я твердо решился не брать стипендию. Пример брата кажется в особенности мне поучительным: Ему также его учитель «пел про его великие способности», про *alter ego* и т. д., он тоже получал стипендию, да еще медали, через год стал читать лекции, а кончилось дело очень плохо. Дело вот в чем: чтобы успевать в жизни, нужны или 1) выдающиеся таланты, или 2) умение жить. Ни того, ни другого у нас нет, а стало быть... нужно быть очень осторожным. Так вот сегодня я и объявил Фам[инцыну], что надеюсь достать урок и потому и т.д., что урок лучше стипендии, так как, получая деньги за урок, я вижу, за что получаю, а стипендия за что платится? За научные занятия нельзя платить; в счет будущих благ уже совсем не имеет смысла и т.п. А.С. самым энергическим образом воспротивился этому. «В научных занятиях вы можете поступать по усмотрению, но здесь уж позвольте мне распоряжаться. Из-за каких-нибудь ничтожных 600 руб-

лей вы портите серьезное дело. Университет имеет специальные суммы на сей конец. Он знает, что он до известной степени рискует, так как из молодого человека может ничего не выйти. Наконец, смотрите на это как на долг, который вы со временем уплатите (т.е. деньгами), и действительно уплатите, — против этого я ничего не буду иметь. Вы уж слишком щепетильны. Кому дать — вам или другим позвольте судить нам (факультету), а не сами это решайте».

Разговор сошел в сторону, коснулся более интимных вещей, взгляда моего на людей, и здесь он сказал мне неожиданную вещь. От других я слышал это нередко, но от него никак не ожидал услышать. Он сказал: «Вы решительно презираете всех, считаете их сделанными из чего-то другого, только не из того, из чего вы сделаны. Вы можете из-за пустяков разойтись с человеком самым близким. Я не уверен, что и мы с вами как-нибудь не разойдемся из-за глупости. И я убежден, что при этом вы первый и всего более от этого страдаете». — «Эти последние ваши слова, А.С., не означают, что вы сердитесь на меня за отказ от стипендии?» — «О нет, никак» — это было сказано так, что я уверен, что они действительно не имели того значения. Вообще он обо мне по-прежнему

еще самого лучшего мнения, и, что особенно дорого, он привязан ко мне. Странно, за что. Уж не обманул ли я его чем-нибудь. Впрочем, не верится как-то ничему этому. А.С. — человек нервный, как я, и может наговорить очень искренне вещей, которых он на самом деле не чувствует.

Видимо, 1-я неделя апреля 1889 г.

Вышеприведенный разговор наш он понял так, что я отказываюсь от стипендии потому, что считаю пользование ею делом бесчестным, а отсюда следует, что он, А.С., толкает меня на бесчестное дело. Между тем я ведь хотел сказать, что себя не считаю достойным стипендии, свои занятия — не подлежащими оплате, но, видно, я уж слишком отдаленно намекал на это. Обиделся, рассердился А.С. страшно; в тот день (пятницу) ушел раньше обыкновенного, в воскресенье нажаловался П.Я. [Крутицкому]* (тот и предупредил меня). В понедельник произошло объяснение. Он даже побледнел, когда я заговорил про стипендию. Но все кончилось прекрасно, мы расцеловались даже, и теперь все обстоит прекрасно. Стипендии было 2, а кандидатов 4, отказали Георгиевскому и кому-то у Филиппа Добродушного. Дали, кроме меня, Фаусеку**. Гоби очень много хлопотал для меня. Он сделал так, что мне будет дана та, которая идет от 1/1 1889 г., а не от 1/III.

Дата неизвестна

Много времени прошло с тех пор, как я писал здесь, — много и воды утекло. Стипендию, о которой сказано выше, я получал в течение года, т.е. до 1/1, а затем, заняв 1/1 1890 г. должность ассистента ботанической лаборатории Академии наук с жалованием 1200 рублей, я отказался от нее, поблагодарив факультет за оказанную помощь. Стипендию отдали тогда Агафонову Вал.[ериану] Константиновичу***.

* Крутицкий Петр Яковлевич (1839—1891), физиолог растений, автор учебника «Практические занятия по гистологии растений».

** Фаусек Виктор Андреевич (1861—1910), энтомолог, впоследствии профессор Женского медицинского института и директор Высших женских (Бестужевских) курсов.

Видимо, начало 1891 г.

Петр Яковлевич [Крутицкий] умер, помнится, 27 января настоящего года. Андрей Сергеевич Фаминцын все время считал его самым близким своим другом и на похоронах так себя держал. Например, он не захотел участвовать в общем венке, а принес свой отдельный с надписью: «Лучшему другу». В Ботаническом обществе, говоря некролог, он едва не плакал. Но после Крутицкого осталась неоконченной книга, бывшая в последние два года жизни его любимой мечтой; в то же время это было бы, может быть, лучшее обеспечение для вдовы, которую П.Я. почти оставил ни с чем. Рукопись книги почти окончена, деньги на издание дает университет, осталось, стало быть, сделать очень немного. Недавно я заговорил об этом с А.С. Он тотчас и наотрез отказался: «Вы знаете ведь, — говорил он, — как писал П.Я.; ни я, ни Бородин**** никогда не принимали всерьез его статьи. Если издать его рукопись, придется отвечать за все глупости, которые там находятся, или же придется все переделать, на что у меня нет времени» (Вот тебе и лучший друг!).

Не знаю, лучшим или худшим другом считал Петра Як. Бородин, но он взял на себя этот труд, и можно надеяться, что сделает.

Нет, не сделает. Через неделю-две он объявил, что, прочтя рукопись, нашел ее слишком неудовлетворительной, прямо не стоящей печати. За чем же вся эта ложь в некрологах, в отзывах, сожалениях и т.п.?

Дата неизвестна, до 20.V.1891 г.

Боже мой, боже мой, сколько лицемерия, лжи, двуличности, подкопов, вражды — словом, борьбы за существование в самом безнравственном смысле этого слова!

*** Агафонов Валериан Константинович (1863—1955), геолог, минералог и почвовед, популяризатор науки.

**** Бородин Иван Парфеньевич (1847—1930), ботаник, профессор кафедры ботаники и дендрологии Санкт-Петербургского лесного института.

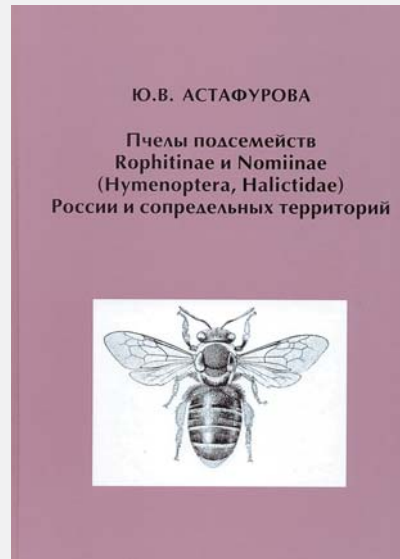
Литература

1. Зильбер Л.А. Некоторые материалы к биографии Дм. И. Ивановского // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1948. №11. С. 80.
2. Черненко Г.Т. Тимирязев в Петербурге—Петрограде. Л., 1991.
3. Вайндрах Г.М. Д.И.Ивановский: Биографический очерк // Ивановский Д.И. О двух болезнях табака. Мозаичная болезнь табака. М., 1949.
4. Максимов Н.А. Воспоминания о Дмитрии Иосифовиче Ивановском // Известия АН СССР. Серия биологическая. 1950. №6. С.22—29.
5. Матухин Г.Р. Педагогическая деятельность Д.И.Ивановского // Памяти Дмитрия Иосифовича Ивановского / Под ред. Н.А.Максимова. М., 1952. С.87—93.
6. Овчаров К.Е. Дмитрий Иосифович Ивановский (1864—1920). М., 1952.
7. Пристupa А.А. Из воспоминаний о профессоре Д.И. Ивановском // О природе вирусов / Под ред. В.Л.Рыжкова. М., 1966. С.11—15.

Зоология

Ю.В.Астафурова. ПЧЕЛЫ ПОДСЕМЕЙСТВ ROPHITINAE И NOMIINAE (HYMENOPTERA, HALICTIDAE) РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ. Серия «Определители по фауне России, издаваемые Зоологическим институтом РАН». Вып.176. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 383 с.

Рофитины и номиины — пчелы, принадлежащие большому и разнообразному семейству Halictidae. Они широко распространены и играют важную роль в опылении растений, в том числе различных сельскохозяйственных культур. Из 260 видов, принадлежащих 16 родам подсемейства Rophitinae, на территории России и сопредельных территорий известны 45 видов из восьми родов. А из более чем 600 видов из 15 родов подсемейства Nomiinae встречены лишь 26 видов из четырех родов. Книга состоит из двух частей. Общая включает обзор истории изучения подсемейств, раздел о морфологии имаго, обобщающие очерки по биологическим особенностям и морфологии преимагинальных стадий, а также раздел, посвященный географическому распространению представителей подсемейств в Палеарктике. В систематической части даны классификации подсемейств, определительные таблицы родов и видов и подробные очерки для 12 родов и 71 вида, включающие синонимику, диагноз и морфологическую характеристику, детальную информацию о распространении, данные о фенологии и трофических связях. Книга иллюстрирована как черно-белыми контурными морфологическими рисунками и картами, так и таблицами цветных фотографий пчел.



История науки

ИСТОРИЯ ПОДЪЯПОЛЬСКИХ: ПЯТЬ ПОКОЛЕНИЙ В XX ВЕКЕ / Авт.-сост. М.Е.Раменская. М.: Время, 2014. 512 с.



Рассказ об одной из ветвей старинного дворянского рода начинается с предков по материнской и отцовской линиям Петра Павловича Подъяпольского (1864—1930) и его жены Варвары Андреевны. Петр Павлович — известный саратовский естествоиспытатель и гипнотерапевт, друг Н.И.Вавилова. Он был членом редколлегий многих европейских журналов по психиатрии и гипнотизму, основателем третьей в мире и второй в Европе биостанции (ныне — Саратовского отделения НИИ озерного и речного рыбного хозяйства). В книге приведены некоторые его неопубликованные работы по гипнотизму, случаи из медицинской практики, фрагменты переписки с Вавиловым. Описана жизнь и деятельность более чем 50 человек из четырех поколений его потомков, среди которых — известные ученые и архитекторы, приведены списки их главных трудов. Впервые опубликованные письма и дневниковые записи представителей трех поколений этой семьи освещают главные события эпохи: Первую мировую войну, Октябрьскую революцию, голод в Поволжье, Великую Отечественную войну, августовскую сессию ВАСХНИЛ, диссидентское движение и падение советской власти. Публикация основана на материалах из архивов РАН, Института медицинской паразитологии и тропической медицины, Центрального государственного архива научно-технической документации Санкт-Петербурга, Саратовского краеведческого музея и семьи Подъяпольских.

А.А.Булавкина–Ончукова: экспедиция глиною в жизнь

Н.О.Кин,
кандидат биологических наук
Т.Н.Савинова,
кандидат исторических наук
Институт степи Уральского отделения РАН
Оренбург

Анна Александровна Булавкина-Ончукова — талантливый флорист, ботаник-географ, педагог, ученица и последователь учений В.Л.Комарова (1869—1945), единомышленница И.И.Спрыгина (1873—1942). Она внесла большой вклад в изучение флоры Поволжского региона. Для многих ученых ее имя хорошо знакомо в основном по сохранившимся в архивах трудам и гербарным листам, однако биография ее малоизвестна. Представляемый материал позволит проследить основные жизненные вехи Булавкиной-Ончуковой*.

Анна Булавкина родилась 23 июля (5 августа) 1882 г. [1, л.28] в г.Ревеле (Таллине) в мещанской семье [2]. На первом году жизни она потеряла мать, а в 12 лет — отца. С этого возраста ей пришлось давать сначала частные уроки [3, л.27], а с 1899 по 1907 г. она преподавала русский язык, естествознание и географию в подготовительных (начальных) школах Плейшнера и Подчерниковой в Ревеле. В то время у Анны Александровны возникает интерес к растениям, и она занимается сбором гербарной коллекции в окрестностях города (1901—1907).

Учеба и первые экспедиции

Продолжать свое образование Булавкина решила в Петербурге [2], где поступила на Высшие женские естественнонаучные курсы М.А.Лохвицкой-



Анна Александровна Булавкина. 1908 г. [1].

Скалон. Во время учебы (1908—1915 гг.) она, проходя полевые практики по анатомии растений и систематике, занималась гербаризацией.

Одним из преподавателей на курсах был Владимир Леонтьевич Комаров, в то время профессор ботаники Санкт-Петербургского университета. На возглавляемой им кафедре образовалась группа энтузиастов ботаники. Вместе со своими верными помощницами он нередко работал до глубокой ночи, а летом много экскурсировал, собирая и систематизируя материалы для различных учебных и демонстрационных пособий [4]. С этого времени начались научные экспедиции

* Благодарим за помощь в сборе материалов для статьи Ю.А.Горбунова — вице-президента Содружества Павленковских библиотек, редактора журнала «Уральский следопыт», действительного члена общественной Академии искусств и художественных ремесел имени Демидовых, автора биобиблиографического сетевого словаря «Писательницы России», и Н.С.Запорожцеву — почетного члена городского Общества изучения Прикамского края, а также сотрудников художественно-выставочного комплекса «Дача Башенина» (Сарапул) и специалистов Боровой лесной опытной станции (Бузулукский бор, Оренбургская обл.).

по стране Анны Александровны. Благодаря сохранившимся письмам, адресованным Комарову, с которым Булавкина переписывалась много лет, сейчас нам известны подробности условий ее научной работы, достижений, душевное состояние.

В 1910 и 1911 гг. Анна Александровна работала в Алатырском и Изюмском уездах Харьковской губернии, в 1912 г. — в Уфимской и Оренбургской губерниях [2].

Во время коротких ботанических поездок на Южный Урал в 1912 г. Булавкина посетила Катав-Ивановский р-н (хребет Зигальга, р.Юрюзань у железнодорожной ст.Вязовая, р.Катав у г.Катав-Ивановска) и окрестности г.Усть-Катава. Собранный ею гербарий, переданный в Главный ботанический сад, в настоящее время хранится в Гербарии БИН РАН, а также в СПбГУ и РГПУ им.А.И.Герцена [2].

В 1913 г. Анна Александровна приняла участие в Ханкайской экспедиции Комарова в Южно-Уссурийский край. Три самостоятельных отряда работали на разных участках: Владимир Леонтьевич выбрал горную страну, где дороги перемежались с тропами, и передвигался на вьючных лошадях; Н.В.Шипчинский* отправился в западную часть края, наиболее населенную и обеспеченную проселочными дорогами, и поехал на телеге; Булавкина исследовала острова и южную часть края и в своих переездах пользовалась любым местным транспортом [4]. Результатом ее работы стал собранный гербарий и статья «Растительность Сучана и острова Путятин в Южно-Уссурийском крае» [5].

В 1914 и 1915 гг. Булавкина занималась гербаризацией под Москвой [3, л.5, 8]. *Глубокоуважаемый Владимир Леонтьевич*, — писала она Комарову 25 августа 1914 г. из подмосковного Старого Гиреева, — *война ставит меня в необходимость искать временного заработка. Если бы Ботанический сад мог дать мне его, была бы благодарна* [3, л.5]. Анна Александровна, продолжая учиться, в трудные 1914—1919 гг., когда учебные заведения периодически прекращали функционировать, то работала ассистентом по ботанике (морфология, систематика, экология) на Стрёмбутовских высших женских сельскохозяйственных курсах, то руководила научно-популярными экскурсиями (1916), будучи научным сотрудником в Ботаническом саду (1918), то преподавала естествознание в Екатерининском мужском училище на Каменном острове, то работала на кафедре ботаники в Петроградском университете [2]. В этот же период она совершила много поездок по Ленинградской, Псковской, Мурманской и другим губерниям, собирая гербарные коллекции и семена луговых растений [2].

Высшие женские естественнонаучные курсы Булавкина окончила в 1915 г. и через три года сда-

ла экзамены физико-математической комиссии Петроградского университета в объеме курса мужских гимназий, получив диплом первой степени.

Петроград... и дальше по России

Трудно себе представить, что в годы революции и сразу же после нее продолжалась научная экспедиционная работа. Тем не менее Анна Александровна не оставила свои ботанические исследования в поле. Так, в 1918 г. она командирована на ст.Мстинский Мост Новгородской губернии для проведения научной работы, а в 1919 г. проводит полевые исследования на луговой станции в Тверской губернии [2].

В 1918 г. Булавкина писала Комарову со ст.Мстинский Мост: *Многоуважаемый Владимир Леонтьевич, я только сегодня устроилась по-домашнему. В день приезда я после долгих поисков набрела на семью моей ревельской ученицы. Хотя меня почти не помнили, но, тем не менее, хорошо приняли и оказали посильную помощь во время поисков квартиры и пищи. Крестьяне целый день на сенокосе, застать их можно только рано утром и вечером, причем часть ночуют в поле, а бабы одни не рискуют пускать чужого, да и не хотят. Сейчас здесь не желают продавать даже молоко, не говоря о хлебе. Через 3 дня я нашла себе комнату довольно далеко от станции в деревне из 6 дворов у местного богатея. По-видимому, по фунту хлеба на день получу благодаря его жене, симпатичной женщине, хотя мы сговорились на 1/2 [фунта] на день, молоко тоже будет. С голоду не помру, но с собой едва ли что привезу: кругом все есть, но меняться не на что. Мёбис в лесу много, Plat. еще не нашла. Желаю Вам и Марии Романовне** всего доброго. Привет Ел. Н. и О. Ал. Ан. Булавкина* [3, л.20].

С 1919 по 1921 г. Анна Александровна занимается научно-популярной работой на экскурсионной станции ГубОно при Главном ботаническом саде в Петрограде и продолжает вести экспедиционные работы, условия которых в 1919 г. еще более ухудшились. *Экскурсировать приходится в совершенно необычном виде: босиком*, — писала она своему учителю. — *Лужи очень часто прерываются болотами; высокая обувь продана, приходится шлепать по-крестьянски, что с непривычки и больно, и страшно, как бы не укусила змея* [3, л.21об.].

В таких же условиях приходилось работать и в 1921 г. в Псковской губернии. *Работа в смысле видов довольно успешна: собрано вместе с культурными за 10 дней около 400 видов, но ведется она со страшным напряжением*, — писала Булавкина из г.Великие Луки. — *С момента отъез-*

* Николай Валерианович Шипчинский (1886—1955) — ботаник, с 1910 г. и до конца своей жизни сотрудник Санкт-Петербургского ботанического сада.

** Мария Романовна Комарова (1886? — ?) — первая жена ВЛ.Комарова.

да и до сего дня всего полдня было солнечных. Сушка требует колоссальных усилий. <...> Пользуемся русской печью часов с 6 вечера до утра. Она слабо тепла, лежанка совсем не годится, т.к. из экономии ее топят... очень немного. Бегать приходится через улицу на значительное расстояние. Денег решительно не хватает, цены здесь близки к петроградским, и купить почти ничего нельзя, в изобилии только молоко. Уже приходится думать о том, как повыгоднее спустить то немного, что было привезено из личных предметов для покупок по возвращении. <...> Мы одеты по-нищенски и переменить после шлепанья под дождем нам почти нечего. <...> Мы живем в реальном училище [3, л.22, 22об.].

В зоне исследований Булавкиной оказался также Астраханский край. Работа была связана с деятельностью Комиссии по изучению естественных производительных сил России при Академии наук, которая предприняла попытку издать коллективный труд по описанию государства «с точки зрения ее природных богатств и использования богатств этих для экономического подъема и возрождения страны»*. С этой целью вся Россия была разделена на 22 района, соответственно, должны были быть изданы 22 тома, и каждый из них, в свою очередь, должен был состоять из 17 тематических выпусков. В 1923 г. вышли два выпуска, посвященные Астраханскому краю: почвы описал Л.И.Прасолов**, а растительность — А.А.Булавкина, причем, каждый из них дал свое деление Астраханского края на естественные районы. Прасолов выделил районы согласно почвенным особенностям, а Булавкина разделила его в соответствии с типами растительности, причисляя весь край в ботаническом отношении к области опустыненных степей. При этом она уточнила, что общая физиономия этого региона далеко не однородна, к тому же границы районов, по ее мнению, совершенно не претендуют на точность, так как и в ботаническом отношении край этот тогда был также мало изучен, как и в почвенном [6, с.3].

В 1922 г. Анна Александровна проводила полевые работы в Череповецкой губернии. Адвентивная и сорно-полевая флора на данной территории, по-видимому, впервые была изучена именно ею в 1922—1924 гг., когда в посевах различных культур она обнаружила 90 видов сорных растений. В 1929 г. вышел краеведческий справочник «Череповецкий округ» с ее очерком «Растительность», в котором Булавкина впервые указала на нахождение здесь таких редких растений, как башмачок настоящий и надбородник безлиственный. Этот очерк, включенный в сборник о природе края, имел очень большое значение для местных

краеведов***. В «Красной книге Вологодской области» (2004) указаны два редких растения, впервые обнаруженные Анной Александровной в бывшем Череповецком округе****: полуншик озерный (впервые был зарегистрирован в 1929 г. в Белозерском р-не на оз.Дмитворово) и полуншик колючеспоровый.

В 1924—1927 и 1929 гг. Булавкина руководила летней практикой студентов географического факультета Ленинградского госуниверситета. В 1925 г. проводила полевые работы на Невско-Волжском водоразделе в Тверской губернии и занималась методической практикой с педагогами на биостанции для повышения их квалификации. В 1926 г. она была занята на полевых работах в д.Колтуши под Ленинградом. В 1928 г. Анна Александровна командирована на ст.Саблино для проведения научных изысканий.

Тяжелые условия работы в 1920-х годах подорвали и без того, судя по ее письмам, слабое здоровье Анны Александровны. В 1926 г. она писала Комарову: *Дорогой Владимир Леонтьевич, нужно ли мне вызвать коммунального врача и представить Вам доказательства болезни для канцелярии? У меня, несомненно, пошел активный процесс в легких, отсюда сильная слабость. Но дома я сижу не из-за легких, а [из-за] заложенной носоглотки. Боюсь наглотаться холодного воздуха и окончательно оглохнуть.* А далее она пишет: *Удовлетворит ли Вас такая программа для летнего практикума...? Биология и морфология растений по типам (лесные, луговые, болотные, сорные). Соответствующие самостоятельные наблюдения студентов в природе* [3, л.23].

9 апреля 1929 г. в жизни Анны Александровны произошло важное событие: она, как сама писала, *по настойчивой просьбе Н.Е.Ончукова****** вышла за него замуж [1, д.9]. Николай Евгеньевич Ончуков (1872—1942), известный сарапульский собиратель былин, в то время был преподавателем этнографии в Ленинградском университете. Собрание его северных былин было отмечено в свое время учеными-этнографами, а Императорское русское географическое общество присудило ему малую серебряную медаль за книгу «По Чердынскому уезду» (1901), малую золотую за «Печорские былины» (1904) и большую золотую за «Северные сказки» (1908).

Вскоре Николай Евгеньевич тяжело заболел паратифом, который оставил осложнения до кон-

* Кузнецов Н. Новый труд о России // Природа. 1923. №1—6. С.118—122.

** Леонид Иванович Прасолов (1875—1954) — геолог, географ и почвовед, действительный член АН СССР.

*** Сулова Т.А., Папанов А.В., Антонова В.И. О редких и малоизвестных растениях Череповецкого района (<http://www.book-site.ru/fulltext/3ch/ere/pov/ets/23.htm>).

**** В 1918 г. из восточной части Вологодской губернии была образована Северо-Двинская губерния, а из восточной части Новгородской — Череповецкая. Западная часть современной Вологодской обл. входила тогда в Череповецкую губернию.

***** Запорожцева Н. Сказочник из Сарапула // Уральский следопыт. 2012. №9. С.36.

ца жизни. Анна Александровна полгода ухаживала за мужем, а летом 1930 г. повезла его в Крым долечиваться, где не оставила занятия гербаризацией*.

1 сентября 1930 г. по доносу одного из коллег Николай Евгеньевич был арестован, как и все остальные члены Ленинградского краеведческого общества, «за контрреволюционную деятельность и хранение нелегальной литературы». При обыске в квартире нашли две его рукописи о Колчаке, и 20 мая 1931 г. ученый был приговорен к высылке в Северный край. Ссылку отбывал до 26 июля 1932 г. в Котласе и Никольске**.

Несмотря на трудные времена для своей семьи, Булавкина-Ончукова много работает: в 1932 г. она — специалист-ботаник Ботанического института АН СССР, где ведет активную преподавательскую деятельность: в 1933 г. в Ленинградском университете читает доцентский курс общей ботаники для гистологов и курс ботаники в Народном университете зеленого строительства. В 1934 г. Анна Александровна участвует в переподготовке педагогов при Ленинградском госуниверситете. Кроме того, с 1933 по 1935 г. она преподает на курсах повышения квалификации по ботанике для садоводов и садовых рабочих при Ботаническом саде АН в Ленинграде.

Пенза и новые экспедиции

1 апреля 1935 г. Булавкина-Ончукова была «уволена согласно заявлению, ввиду высылки из Ленинграда по местоповелению НКВД в г. Пензу», куда вынуждена была уехать вместе с мужем [2].

Оказавшись в Пензе, Анна Александровна снова столкнулась с проблемой поиска работы, давало о себе знать и подорванное здоровье, о котором она писала Комарову, что ее болезнь — следствие долговременной усталости, сильного нервного переутомления и возраста [3, л.27]. Пытаясь помочь, Владимир Леонтьевич выслал деньги. *Ваш подарок растрогал меня и в то же время поставил меня в тупик*, — писала Анна Александровна в ответ 22 декабря 1935 г. — *Я пока сыта: масло и молоко здесь дешевле, чем в Ленинграде. И они у меня есть. <...> Впереди неопределенность: с 1 января 1936 г. обещана договорная работа по флоре Средне-Волжского края с расчетом около 225—250 р. в месяц (печатн. лист). Но его нужно будет написать, а деньги, может быть, будут месяца через 2, 2¹/₂, как, между прочим, мне было уплачено за препараторскую работу в середине с декабря по 25—30 р. в несколько сроков, работа уже была сдана 17 октября на 116 р. Штатной должности, вопреки обещанию Вас. Иван. Смирнова, для меня не оказалось ни в сентябре,*

ни в новом году. Предлагалась в качестве проек-та в середине будущего летнего периода должность заведующего по одному из секторов культур, но это агрономическая работа, которой я не знаю и не решаюсь взять на себя ответственность. Тем не менее, пока я не голодна, деньги, так или иначе, у меня появлялись, то выигрыши, % с займов, то продажа кое-чего из ненужных вещей и т.п. <...> Я бы горячо поблагодарила Вас за помощь и вернула бы присланное. Сейчас уже, взвесив шаткость своего положения, я решила их принять с тем расчетом, что если работа пойдет в новом году нормально, то я их Вам с благодарностью верну, пока же горячо благодарю. <...> Если все будет так, как я предполагаю, то в феврале я буду в Ленинграде для работы в библиотеке и гербарии, тогда лично еще раз поблагодарю Вас за внимание [3, л.27, 27об.].

В 1935—1939 гг. Анна Александровна работала старшим научным сотрудником Куйбышевского заповедника*** (с 1959 г. он стал называться Жигулевским). В те же годы она занимается изучением кормов лосей в Бузулукском заповеднике, проводит полную инвентаризацию флоры заповедника и готовит рукопись «Список растений Бузулукского заповедника»****.

Одно из писем этого периода, от 16 января 1935 г., адресовано Е.П.Кнорре*****. Булавкина-Ончукова писала ему: *Многоуважаемый Евгений Павлович. <...> Посылаю Вам список растений. Одну иву не удалось распознать, несмотря на соединенные усилия нескольких специалистов, — очень плохо собрана. Относительно районов я даю общие списки, п.ч. [потому что] они должны войти и в мой отчет. Вас. Ив. [Смирнов] требует отчета или в виде содоклада к Вашему, или в виде письменного. Растения еще далеко не все определены, проработка идет медленно, п.ч. по новой флоре СССР прежние виды очень сильно разбиты, а справочный материал здесь в значительной мере отсутствует.*

Растения, поедаемые лосями в Бузулукском заповеднике, расположены в систематическом порядке. Любимые ими подчеркнуты жирной чер-

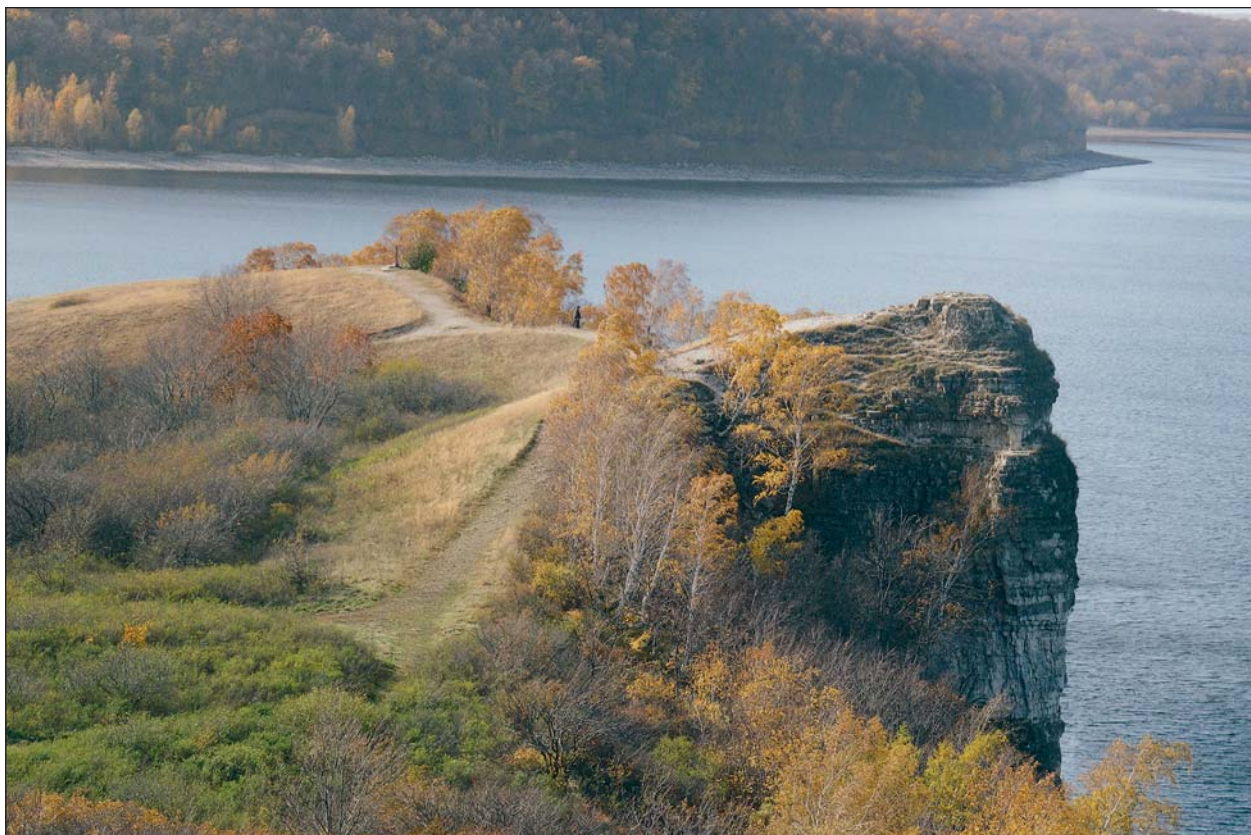
*** Заповедник возник по инициативе Спрыгина и с 1927 по 1935 г. известен как «Средне-Волжский». В 1935 г. заповедник был переименован в Куйбышевский, и к нему был присоединен новый участок в Бузулукском бору. Бузулукский участок пробыв в составе Куйбышевского заповедника менее года и вскоре был выделен в самостоятельный заповедник.

**** Запорожцева Н. Цит соч. С.35, 36.

***** Евгений Павлович Кнорре (1902—1986) — занимался исследованиями в Бузулукском бору с 1929 г., в 1932 г. добился решения Средне-Волжского крайисполкома о заповедании части этого лесного массива. Работал в должности научного сотрудника и директора заповедника «Бузулукский бор». В 1938 г. перешел на должность заведующего его научной частью, занимался опытами по одомашниванию лося.

* Запорожцева Н. Цит соч.

** Там же.



Жигулевский заповедник.

Фото Н.О.Кин

той. Часть растений, по-видимому, обкусаны более или менее случайно. Что до деревьев и кустарников, то я не все знаю [7].

25 мая 1935 г. решением ученого совета Ботанического института АН СССР Анна Александровна была представлена к степени кандидата биологических наук [1, д.36].

Летом 1936 г. к Жигулевскому заповеднику присоединили новый участок — Хмелевой овраг, площадью 2500 га. Обследованием занималась небольшая группа ученых: лесовод Р.В.Галахов, лаборант О.И.Андреева, ботаник А.А.Булавкина-Ончукова, охотовед Е.С.Куфельд; и осенью к ним присоединился почвовед В.А.Носин. В обязанности Анны Александровны, помимо выяснения флористического состава, установления типов растительности (главным образом леса), определения научной и хозяйственной ценности участка, входило также составление сводного отчета [8, л.3]. Работа велась в очень тяжелых условиях. Населенные пункты и база находились далеко. У членов экспедиции была всего одна лошадь, которой постоянно не хватало воды, и животное было просто обессилено [8, л.5]. Передвигаться приходилось по просекам, прорубленным еще в 1870-х годах, и к 1936 г. часть их, как писала Булавкина-Ончукова, зарастает или заросла, часть — завале-

на сломанными или вывороченными в бурю крупными деревьями [8, л.15]. Результатом работы стал объемный отчет — 309 страниц текста, напечатанный на машинке с рукописными вставками латинских названий растений и различными дополнениями [8].

В сентябре 1936 г. Булавкина-Ончукова отправила Комарову свою работу «Пастбища и корма лесов в Бузулукском бору» с надеждой, что он изыщет возможность ее где-нибудь напечатать (возможно, разбив на две, из-за большого объема). Простите за грязно исполненную с внешней стороны рукопись, — писала она в сопроводительном письме, — здесь нет пишущей машинки с иностранным текстом и грамотных переписчиц. Только что закончила очень трудную работу в Жигулях: исследование лесов в Хмелевом овраге. Работа комплексная: со мной работал лесовод Р.В.Галахов. Обещана была почвоведка, но при мне она еще не приехала и вряд ли приедет из-за наступившей ранней осени. Никогда еще не приходилось работать в таких безобразных условиях, как нынче — почти не проходило дня без неприятности. Ежедневно глотала хину, чтобы спастись от малярии. С 1 мая зачислена в штат заповедника в звании старшего научного сотрудника. Летом прилично наработала. Как

только расплачусь с долгами, с благодарностью верну и Вам сумму, которую Вы мне в прошлом году послали. Сейчас у меня небольшой отпуск; собираюсь вниз по Волге до Астрахани и, если удастся, посмотреть дельту [3, л.28, 28об.].

В 1937 г. Анна Александровна преподавала курс ботаники для повышения квалификации наблюдателей Куйбышевского госзаповедника.

К началу 1938 г. Булавкина-Ончукова закончила три работы: «Очерк растительности Хмелевого заповедного участка в Жигулевских горах», описала 29 видов бобовых для «Флоры Средне-Волжского края» и подготовила «Учебник ботаники для наблюдений наших заповедных участков». 1-я работа комплексная, — писала она Комарову, — в ней участвуют лесовод, я и отчасти почвовед. Работа вышла безобразно большой, 20 печ. л., нужно уменьшать, а она мне уже бесконечно надоела, да и заниматься ею можно только по ночам, п.ч. днем др. работа (по флоре). По флоре пишется легко — работа по специальности. 3-я работа возникла шутя. Достопочтенный Вас. Ив. Смир-

нов поручил мне ее в качестве общественной нагрузки. Я написала 25 стр. (отпечатанные на машинке) — растение, его жизнь и значение для человека. Дело стало за рисунками, а без них его нельзя было дать полуграмотным людям. Прошел почти год со времени его написания и только теперь удалось найти художницу (правда, доморощенную), которая исполняет рисунки. Мне обещали на эту работу 300 р. Она выйдет на переделы и вероятно будет стоить не менее 400 р. Местком дал мне 100 р. Директор обещал 200 р., но когда я ему написала в Жигули о том, что мне нужны деньги заплатить художнице, то он уже ответил так: «пусть О. напишет мне два экземпляра работы. Если комитет по заповедникам одобрит ее, то тогда будут и деньги». Я ему несколько раз говорила о том, что без рисунков учебник не годен. Нет ничего труднее, как написать книгу с научным содержанием популярно для полуграмотных, мало заинтересованных в ней людей. Сейчас я заплатила художнице своими деньгами. Ваш подарок, который я хотела Вам вернуть (300 р.), опять ухнул, очень возможно, что эти деньги так и пропадут для меня, несмотря на то что директор уехал в Жигули, обещая и председателю месткома, и мне дать 200 руб., когда они понадобятся. <...>

В данный момент сотрудники заповедника на распутье. В мае большая часть уедет в Жигули и там останется на постоянное жительство (установка Комитета по заповедникам). Пока неизвестна участь пензенской группы. В Жигулях жить круглый год отвратительно: никаких удобств, тропическая свирепая форма малярии, отрезанность от города рекой, тяжелый горный рельеф для больного сердца.

Летний отдых (45 дн.) провела в этом году очень хорошо: водою и сушей покрыла около 5000 км. Первый раз видела очень интересные в ботаническом отношении места. 3 дня прогостила у Елизав. Иосифовны. <...> Предполагала познакомиться с Ольг. Ник. Р., но не удалось — пришлось бы долго ехать в вагоне, а я уже чересчур устала после двухлетней работы без отдыха [3, л.31, 32 об.]. Работаю без передышки, некогда отдохнуть, прошел ноябрь, проходит и декабрь, а на отпуск все нет времени; работы по горло, — это уже из письма 1939 г. [3, л.33].

Летом 1938 г. Анна Александровна работала в Бузулукском бору над составлением гербария флоры заповедника [1, д.37]. Многие ученые, в первую очередь В.Н.Сукачев и М.В.Марков, в своих работах, ссылаясь на нее, пишут о находжении в Бузулукском заповеднике 666 видов растений. К сожалению, список видов не сохранился; кроме того мы не знаем в каком объеме воспринимался термин «растение» — ее интересуют лишайники и мхи, она составляет и коллекцию грибов. Собирая информацию о флоре бора из архивных источников, благодаря сохранившимся наброскам



Бузулукский бор, берег р.Боровки.

Фото Н.О.Кин

к статьям, ботаническим этюдам и рабочим спискам, нам удалось установить 374 вида сосудистых растений из указываемых 666 в литературных источниках. В сборе образцов растений участвовал и муж Анны Александровны, что подтверждается сохранившейся этикеткой от коллекции высших грибов, собранных в сентябре 1938 г. [7]. В Бузулукском заповеднике Булавкина-Ончукова работала до 1940 г. [2].

Ко времени приезда в Пензу Анна Александровна владела методикой по систематике и анатомии растений. Живя в этом городе, она постоянно проводила гербарные сборы в окрестностях города и монографическую обработку растений. В те годы Булавкина-Ончукова сменила ряд должностей в краеведческом музее и ботаническом саду, где занималась регулярным мониторингом. В областной газете «Сталинское знамя» время от времени печатались ее статьи: «Осень в Ботаническом саду», «Весна в Ботаническом саду» и другие, привлекавшие в сад новых посетителей*.

Результаты деятельности в Пензенском ботаническом саду отражены в тексте почетной грамоты, которой ее наградили в 1939 г.: «Дорогая Анна Александровна, благодаря Вашим глубоким научным познаниям и большому опыту, исключительной добросовестности и энергии Пензенский ботанический сад за короткий срок Вашей работы в нем из коммерческого садоводства вырос в культурное научно-просветительное учреждение. Вы вложили в дело возрождения и переустройства сада так много любви, труда, заботы и здоровья и, несмотря на крайне тяжелые условия, добились таких осязательных успехов, что администрация, местком и весь коллектив Пензенского областного краеведческого музея считают долгом в знак признательности наградить Вас в день XXII годовщины Октябрьской социалистической революции почетной грамотой» [3, л.34].

Несмотря на трудные времена, в 1940 г. Анна Александровна заканчивает монографию по роду водосбор. С 1 января 1941 г. она — старший научный сотрудник Ботанического сада, ставшего самостоятельным научным учреждением.

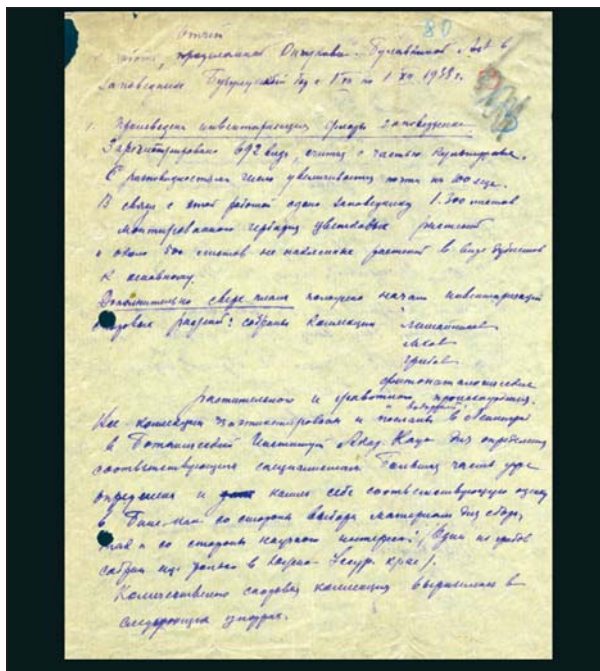
В 1945 г. совместно с Б.П.Сацердотовым** Булавкина-Ончукова написала статью «Иван Иванович Спрыгин», которая предварила изданную в Пензе книгу И.И.Спрыгина «Лекарственные растения Пензенской области»***.

Труды Булавиной-Ончуковой были отмечены почетными грамотами Ботанического института

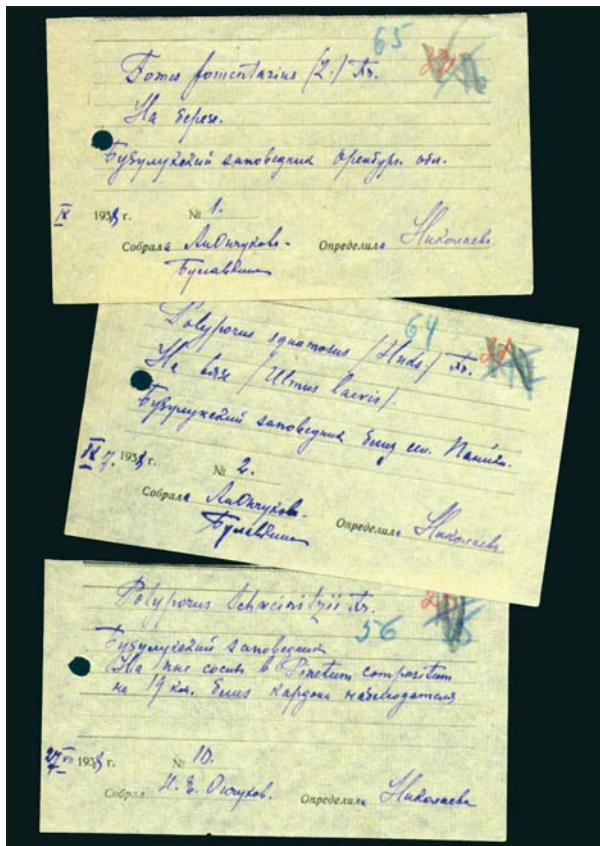
* Тюстин А.В. Пензенский ботанический сад и его творцы (<http://biologtext.ru/osnovateli>).

** Борис Петрович Сацердотов (1898—1966) — ботаник-дендролог, действительный член Всесоюзного ботанического общества, внесший значительный вклад в изучение растительности Среднего Поволжья, особенно Пензенской обл.

*** Тюстин А.В. Указ. соч.



Лист из «Отчета о работе, проделанной Ончуковой-Булавкиной А.А. в Бузулукском бору с 1.VII по 1.XII.1938 г.».



Этикетки для коллекции высших грибов, собранных в сентябре 1938 г. в Бузулукском бору А.А.Булавиной-Ончуковой и Н.Е.Ончуковым.

АН СССР и Пензенского ботанического сада, ей была назначена академическая пенсия [1, д.23, 35]. 30 июня 1946 г. Анна Александровна была награждена медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне» [1, д.39].

Анна Александровна скончалась 27 октября 1947 г. и была похоронена на Митрофаниевском кладбище г.Пензы*. Ее педагогический стаж в вузах составил 27 лет.

Булавкина-Ончукова написала 47 работ, но напечатано было всего 16, в том числе две монографии. Наиболее известны следующие ее труды:

* Тюстин А.В. Указ. соч.

«Растительность Сучана и острова Путятин в Южно-Уссурийском крае» [5], «Астраханский край: растительность» [6]), «Растительность» (Пг., 1921), «Растительный мир» (Череповец, 1929), «Сем. Zygophyllaceae Парнолистниковые» (Сорные растения СССР: В 4-х т. Т.III. Л., 1934. С.247–252), «Род 523. Водосбор, орлики — *Aquilegia*» (Флора СССР: В 30 т. Т.VII. М.; Л., 1937. С.86–99), «Очерк растительности Хмелевого оврага в Жигулевских горах: Отчет о НИР Жигулевский заповедник» / исп. А.А.Ончукова-Булавкина, Р.В.Галахов [8, оп.4, д.35], «Материалы по растительности вдоль линии Мурманской железной дороги» (Изв. Гл. бот. сада АН СССР. Т.26. №2). ■

Литература

1. Российский государственный архив литературы и искусства (РГАЛИ). Ф.1366. Оп.2. Д.28.
2. Санкт-Петербургский филиал Архива РАН (СПФ АРАН). Ф.273. Оп.3. Д. 24.
3. СПФ АРАН. Ф.277. Оп.4. Д.359.
4. Павлов Н.В. Владимир Леонтьевич Комаров. М., 1951.
5. Булавкина А.А. Растительность Сучана и острова Путятин в Южно-Уссурийском крае // Труды почв.-ботан. экспедиций по исследованию колонизационных районов Азиатской России. Ч.2: Бот. исследования 1913 г. Пг., 1917. С.219–271.
6. Булавкина А.А. Астраханский край: растительность. Сер. «Россия». Т.XII. Гл.б. Пб., 1921.
7. Архив Института степи УрО РАН. Фонд «Бузулукский бор».
8. Государственный архив Российской Федерации (ГА РФ). Ф.А-358. Оп.4. Д.35.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
М.Б.БУРЗИН
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА
А.О.ЯКИМЕНКО

Выпускающий редактор
Л.П.БЕЛЯНОВА

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 20.01.2015
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать
Заказ 970
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6