

ПРИРОДА

11 2019

ЗАРОЖДЕНИЕ
И ВОЗРОЖДЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ
ГЕНЕТИКИ

100 лет кафедре
генетики и биотехнологии
Санкт-Петербургского
государственного университета

С.3



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

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

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

В НОМЕРЕ:

3 С.Г.Инге-Вечтомов

Вековая история первой в России кафедры генетики

История кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета — это история развития отечественной генетики, включающая трагический период сопротивления лысенковщине и этапы восстановления после ее натиска. Как и век назад, ученые, преподающие на кафедре, считают главным в генетическом образовании его единение с наукой и овладение принципами и структурой научного метода.

14 В.Я.Сергин

Первые собаки: когда и где?

С конца прошлого века генетики утверждают, что отделение общего предка собак от волка произошло 135 тыс. лет назад. Однако данные палеозоологов, использующих традиционные (некалиброванные) датировки по ^{14}C , выглядят более убедительными. Судя по всему, одомашнивание волка все же произошло около 13 тыс. лет назад в Западной Европе и на Ближнем Востоке.

20 Д.Я.Фащук

Черноморская кефаль: как возродить былую славу?

В Северном Причерноморье с давних времен ловили кефаль, и основу промысла всегда составляла рыба, выращиваемая в прибрежных лиманных хозяйствах. Но в середине прошлого века в кефалеводстве наступил кризис. Спасти положение и восстановить популяцию ценной рыбы помог необычный гость с Дальнего Востока.

32 Г.И.Каневский, А.М.Клубничкин, К.Е.Сазонов

Развитая кавитация гребных винтов

В бытовых представлениях кавитация связывается с образованием пузырьков в водяной струе. Иногда ее называют «холодным кипением», которое происходит при пониженном давлении. С проблемой кавитации сталкиваются различные исследователи, занимающиеся вопросами течения жидкостей. В технических приложениях она крайне актуальна при проектировании гребных винтов и вообще движителей судов и других подобных устройств.

39 Г.В.Новиков

Океанские железомарганцевые отложения: от наночастиц до макрообъектов

Одна из фундаментальных проблем океанского железомарганцевого минералообразования — расшифровка механизмов отложения ультрадисперсных рудных минералов марганца и железа и последующей их эволюции до современного агрегатного состояния в процессе роста железомарганцевых отложений.

50 А.А.Лукашов, Т.Л.Смоктуневич

Приморская Португалия: эколого-географические изменения ландшафтов

Уже более 2000 лет человек и природа вместе определяют облик португальских берегов. Устья рек меняются из-за течений, штормов и искусственных берегозащитных сооружений, крупные лагуны превращаются в солеродные бассейны и влияют на образ жизни прибрежного населения, а лесоразведение, изначально имеющее благие цели, оборачивается экологическими проблемами.

62 Е.В.Дробинина, В.Н.Катаев

Покровная толща карстовых массивов: изучение в целях карстологического прогноза

Наиболее отчетливо свойства толщи покровов над растворимыми породами — структурного элемента карстового массива — изменяются над полостями, достигшими критических поперечных размеров, при которых нарушается равновесие между удерживающими и сдвигающими силами и происходит обрушение свода полости.

73 НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Р.К.Расцветаева, С.М.Аксёнов

Эвдиалиту — 200 лет: история открытия и изучения

77 РЕЦЕНЗИИ

В.Н.Комаров

Как найти своего динозавра

(на книгу: Д.В.Григорьев. Как откопать своего динозавра)

78 НОВЫЕ КНИГИ

79 «NATURE» — 150 ЛЕТ!

CONTENTS:

3 S.G.Inge-Vechtomov

The Century History of the First Department of Genetics in Russia

The history of Department of Genetics and Biotechnology of St. Petersburg State University is the history of the development of domestic genetics, including the tragic period of resistance to Lysenkoism and the stages of subsequent recovery. Like a century ago, the unity of genetic education with science and mastery of the principles and structure of the scientific method are considered by the scientists of the Department as the most important thing.

14 V.Ya.Sergin

First Dogs: When and Where?

Since the end of the last century, genetics have claimed that the wolves and dogs split from their common ancestor 135 thousand years ago. However, the data of paleozoologists which used traditional (uncalibrated) ^{14}C dating look more convincing. Apparently, the domestication of the wolf nevertheless occurred about 13 thousand years ago in Western Europe and the Middle East.

20 D.Ya.Fashchuk

Black Sea Mullet: How to Bring Back the Days of Glory?

Mullet has been caught in the Northern Black Sea region since ancient times, and the fish that has been grown in aquatories of rearing farms of the Black Sea limans always formed the core of fishery. But in the middle of the last century, a crisis came up in mullet farming. An unusual guest from the Far East helped to save the situation and restore the population of the valuable fish.

32 G.I.Kanevsky, A.M.Klubnichkin, K.E.Sazonov

Developed Screw-Propeller Cavitation

In our common everyday life, cavitation is associated with the formation of bubbles in a water stream. It is sometimes called the cold boil, which occurs under reduced pressure. The problem of cavitation is faced by various researchers dealing with the flow of liquids. In technical applications, it is extremely relevant in the design of screw-propellers and propelling machinery of ships and other similar devices.

39 G.V.Novikov

Oceanic Ferromanganese Deposits: from Nanoparticles to Macro-Objects

One of the fundamental problems of oceanic ferromanganese mineral formation is the interpretation of the mechanisms of deposition of ultrafine ore minerals of manganese and iron and their subsequent evolution to a modern aggregate state during the growth of ferromanganese deposits.

50 A.A.Lukashov, T.L.Smoktunovich

Environmental Transformation of the Coastal Portugal

For more than 2000 years, human beings and nature have been together defining the face of the Portuguese coast. River mouths are changing due to currents, storms, and artificial coastal protection constructions. Large lagoons turn into salt basins and affect the lifestyle of the coastal population. And afforestation, which initially aimed to good goals, turns into environmental problems.

62 E.V.Drobinina, V.N.Kataev

Covering Karst Massifs: Study for the Purpose of Karstological Forecast

Properties of the thickness of cover over soluble rocks — structural element of the karst massifs — most distinctly change over cavities that have reached critical transverse dimensions, in which the equilibrium between the holding and shear forces is disturbed and the arch of the cavity collapses.

73 SCIENTIFIC COMMUNICATIONS

R.K.Rastsvetaeva, S.M.Aksenov

200th Anniversary of Eudialyte: Its Discovery and Study History

77 BOOK REVIEWS

V.N.Komarov

How to Find Your Dinosaur

(on the book: D.V.Grigorev. How to Dig Out Your Dinosaur)

78 NEW BOOKS

79 150 YEARS OF "NATURE" JOURNAL

Вековая история первой в России кафедры генетики

С.Г.Инге-Вечтомов^{1,2}

¹Санкт-Петербургский филиал Института общей генетики имени Н.И.Вавилова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

²Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)

В 1919 г. в Петроградском университете Ю.А.Филипченко организовал кафедру генетики и экспериментальной зоологии (ныне — кафедра генетики и биотехнологии биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета). Эта первая в стране кафедра генетики сыграла ключевую роль в развитии отечественной генетики и ее восстановлении после периода лысенковщины. Подробно об этом можно прочесть в коллективном труде сотрудников кафедры «Генетика вчера и сегодня» [1]. В основе этой статьи — пленарный доклад академика С.Г.Инге-Вечтомова (заведующего кафедрой в 1972–2015 гг.), который он прочел на Международном конгрессе «VII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ» (Санкт-Петербург, 18–22 июня 2019 г.).

Ключевые слова: история генетики, первая кафедра генетики, проблемы науки и образования.

В начале прошлого века Россия сильно отставала в развитии генетики от других стран Европы и США. Напомню, что первая солидная монография «Менделизм, или теория скрещивания» Е.А.Богданова* была опубликована только в 1914 г., когда Т.Х.Морган** со своими учениками в США уже обосновали хромосомную теорию наследственности.

Основоположниками отечественной генетики стали высокообразованные биологи-эволюционисты, чьи научные интересы выходили за рамки экспериментальной работы и которые пристально следили за развитием мировой науки. Среди них видное место занимает Ю.А.Филипченко*** (1882–1930), создав-



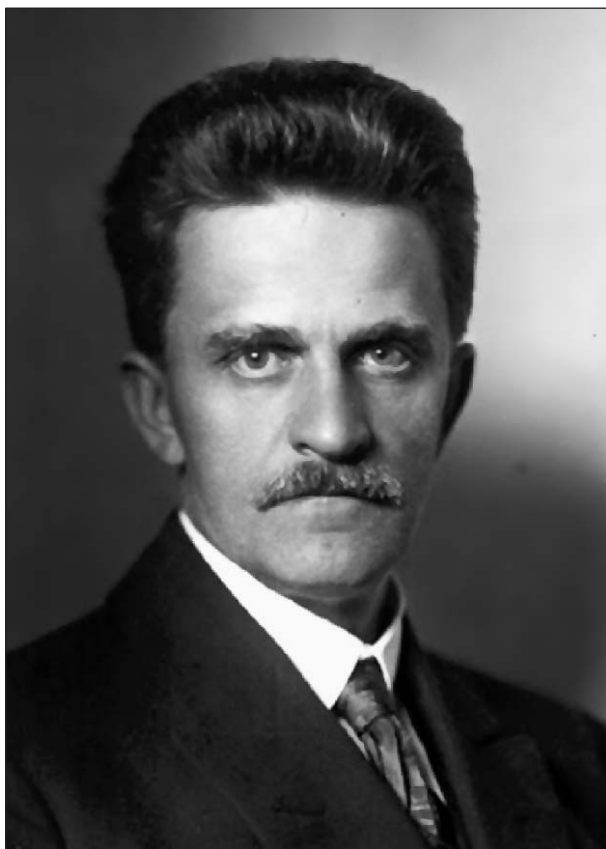
Сергей Георгиевич Инге-Вечтомов, академик РАН, иностранный член Литовской академии наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета, директор Санкт-Петербургского филиала Института общей генетики имени Н.И.Вавилова РАН, вице-президент Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Область научных интересов — общая и молекулярная генетика, генетический контроль синтеза белка, генетика дрожжей, прионы дрожжей, экологическая генетика, генетическая токсикология, история генетики.
e-mail: ingevectomov@gmail.com

ший первую в нашей стране кафедру генетики, которая как минимум дважды сыграла ключевую роль в развитии этой дисциплины в нашей стране: в зарождении отечественной генетики и в ее восстановлении после периода лысенковщины.

* Еллий Анатольевич Богданов (1872–1931) — биолог, один из основателей зоотехнии в России. В упомянутой книге описаны опыты по скрещиванию и приведены многочисленные примеры их использования в животноводстве. — *Здесь и далее примеч. ред.*

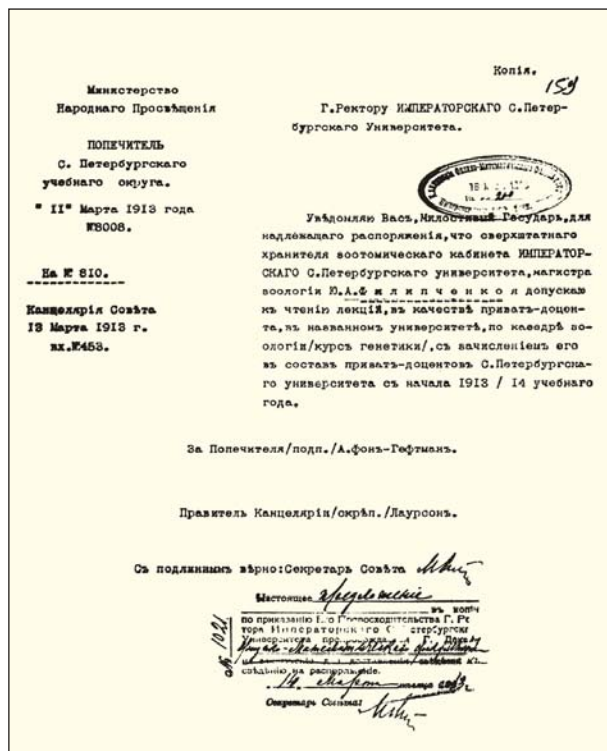
** «За открытия, связанные с ролью хромосом в наследственности» Томас Хант Морган (1866–1945), один из основоположников генетики, в 1933 г. получил Нобелевскую премию по физиологии или медицине.

*** В «Природе» опубликовано немало статей как самого Юрия Александровича Филипченко, так и воспоминаний о нем. См., например: Ю.А.Филипченко. Наследование окраски домашних животных (1914. №9. С.1039–1056), Статистический метод в биологии (1917. №2. С.175–192), Гибриды домашних животных (1917. №7–8. С.777–804), Хромосомы и наследственность (1919. №7–9. С.327–350), Закон Менделя и Моргана (1922. №10–12. С.51–66), Новая теория эволюции (1924. №7–12. С.51–62); Ленин Т.К. Юрий Александрович Филипченко (1930. №7–8. С.683–698); Прокофьева-Бельговская А.А. У истоков отечественной генетики (1982. №2. 99–105); Захаров И.А. Генетики и эволюционисты — Ю.А.Филипченко и Н.И.Вавилов (1982. №2. 86–105) и др. Все эти статьи можно найти в электронном архиве «Природы» на сайте РАН (priroda.ras.ru).



Юрий Александрович Филиппенко. 1925 г.

Здесь и далее фото из архивов «Природы» и кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ



Распоряжение попечителя Санкт-Петербургского учебного округа о начале чтения лекций Ю.А. Филиппенко.

Как все начиналось

В 1911 г. (через пять лет после окончания Императорского Санкт-Петербургского университета) Юрий Александрович (далее Ю.А.) был командирован для подготовки магистерской диссертации в Германию в лабораторию Р.Гертвига* Мюнхенского университета имени Людвига и Максимилиана, где познакомился с выдающимся генетиком Р.Гольдшмидтом**.

Защитив диссертацию в 1913 г. и вернувшись в университет, Ю.А. уже в сентябре того же года ввел на естественном отделении физико-математического факультета новый курс «Учение о наследственности и эволюции». Справедливости ради отмечу, что годом ранее курс лекций о законах наследственности в растительном мире начал читать в Императорском Новороссийском университете в Одессе А.А.Сапегин (1883–1946), впоследствии ставший академиком (1929) и вице-президентом АН Украинской ССР (1939–1945) [2, с.95].

В 1917 г. Ю.А. защитил первую в нашей стране докторскую диссертацию по генетике. В течение всей дальнейшей жизни он сохранял интерес к проблемам наследственности и изменчивости количественных признаков, при этом отлично владел методами вариационной статистики и был специалистом в области, которая позже получила название генетический анализ. Прекрасная общебиологическая подготовка в сочетании со свободным владением тремя европейскими языками (немецким, английским и французским) весьма способствовали его развитию не только как ученого, но и педагога [3]. Поэтому неудивительно, что в 1919 г. Ю.А. создал в Петроградском университете кафедру генетики и экспериментальной зоологии [4], в 1920-м — лабораторию генетики в только что созданном Петергофском естественнонаучном институте (ПЕНИ), который позднее был переименован в Биологический научно-исследовательский институт (БиНИИ). Там, на экспериментальных полях, расположенных на краю Старого Петергофа, Ю.А. вместе с сотрудниками вел работу по изменчивости и наследственности количественных признаков у пшеницы [5].

14 февраля 1921 г. Ю.А. выступил на заседании совета Комитета по естественным производитель-

* Рихард Гертвиг (Richard Hertwig; 1850–1937) — зоолог и эмбриолог, вместе со старшим братом Оскаром Гертвигом (Oscar Hertwig; 1849–1922) прославился исследованиями в области биологии развития.

** Рихард Гольдшмидт (Richard Goldschmidt; 1878–1958) — американский генетик-эволюционист немецкого происхождения. В 1903–1914 гг. работал в Мюнхенском университете имени Людвига и Максимилиана, затем возглавил секцию генетики в Институте биологии Кайзера Вильгельма (Берлин), в 1935-м эмигрировал в США, где стал профессором Калифорнийского университета в Беркли.

ным силам России (КЕПС) о необходимости создания Бюро по евгенике в Петрограде. Хотя слово «евгеника» у многих членов совета КЕПС вызвало смешанные чувства, предложение было одобрено. В 1925 г. Бюро по евгенике было переименовано в Бюро по евгенике и генетике, а в 1929-м — в Бюро по генетике.

В жизни бюро было немало трудностей (тогда, как, впрочем, и сегодня, наука была бедна) [6]. Изначально оно состояло всего из трех человек (помимо Ю.А. еще Я.Я.Лус, Т.К.Лепин), затем, в 1925 г., в штат был зачислен Ф.Г.Добржанский, однако внештатно в бюро работали многие сотрудники, аспиранты и студенты кафедры.

В 1926–1927 гг. были организованы совместные животноводческие экспедиции в Казахстан. Начальником обоих отрядов был Добржанский. В 1928–1930 гг. состоялись экспедиции в Киргизию и Туркмению. Целью этих экспедиций, в частности, была подготовка материала для создания перспективной породы овец — архаро-мериноса — единственной породы, полученной путем межвидовой гибридизации. Кроме того исследовали породный состав животных и оценивали перспективность дальнейшей селекционной работы.

Подробнейшие отчеты об экспедициях выходили в издаваемых бюро трудах («Известиях Бюро по евгенике и генетике»), где публиковались не только отечественные генетики, но и их зарубежные коллеги. Замечу, что Ю.А. всегда поддерживал контакты с крупнейшими учеными — Н.И.Вавиловым и Н.К.Кольцовым, Т.Х.Морганом и У.Бэтсоном, и др. К примеру, сотрудничество Ю.А. с Морганом привело к публикации небольшой брошюры «Наследственны ли приобретенные признаки» [7], а также к командировке в Колумбийский университет в лабораторию Морган, куда в 1927 г. по стипендии Фонда Рокфеллера отправился Добржанский [8]. Как известно, из США он не вернулся и фактически «унаследовал» школу Морган. Не случайно Ю.А. выделял Добржанского среди своих учеников, несмотря на далеко не простые с ним отношения*, — он стал одним из лидеров мировой генетики и заложил основы синтетической теории эволюции [9].

Ю.А.Филипченко скоропостижно скончался 19 мая 1930 г. (в возрасте 48 лет) после работы на посевах пшеницы в Старом Петергофе. Но остались его учебники, многочисленные научные и научно-популярные публикации, выдержавшие неоднократные переиздания, и обширная научная школа, многие представители которой стали известными учеными.

* Об истории сотрудничества Добржанского с коллегами и друзьями на родине подробнее см.: *Конашев М.Б.* Советская генетика и Ф.Г.Добржанский // Природа. 2016. №5. С.73–80.



Ю.А.Филипченко на экспериментальном поле Петергофского естественнонаучного института (Сергиевка, 1929 г.).



Ю.А.Филипченко с сотрудниками и студентами, отъезжающими в первую экспедицию в Казахстан (1926 г.). Сидят, слева направо: Ф.Г.Добржанский, Ю.А.Филипченко, Я.Я.Лус; стоят — В.И.Савельев, Н.Н.Медведев [10].



В Петергофскофском естественнаучном институте, 1925 г. Слева направо, верхний ряд — Х.Федерлей, О.Фогт, У.Бэтсон, нижний ряд — И.И.Соколов, В.А.Догель, Ю.А.Филипченко, Н.И.Вавилов.



Форзац брошюры Т.Х.Моргана и Ю.А.Филипченко, в которой они обсуждают проблемы неоламаркизма.

В 1930 г. Бюро по генетике было преобразовано в лабораторию, на базе которой возглавивший ее Н.И.Вавилов организовал в 1933-м Институт генетики АН СССР, переехавший в Москву в 1934 г. (ныне Институт общей генетики имени Н.И.Вавилова РАН, ИОГен). В университете с 1932 г. было уже две кафедры генетики: генетики животных, ко-

торой заведовал А.П.Владимирский (1886–1939), и генетики растений, организованной по инициативе Вавилова, рекомендовавшего на должность ее заведующего своего сотрудника Г.Д.Карпеченко (1899–1941). После кончины Владимирского в 1939 г. кафедру генетики животных возглавил Ю.И.Полянский (1904–1993), который руководил



В гостях у Моргана (Пасадена, США, 1930 г.). Слева направо: Ф.Г.Добржанский, Н.П.Сиверцева (в замужестве — Добржанская), Н.И.Вавилов и Г.Д.Карпеченко.



Одна из последних фотографий Ю.А. в кругу сотрудников кафедры (Старый Петергоф, 1929 г.). Сидят: А.А.Прокофьева-Бельговская, И.И.Соколов, Ю.А.Филипченко, В.Н.Макалевская. Стоят: Е.П.Гогейзель (Раджабли), Ю.Я.Керкис, А.Т.Лепин, Б.И.Васильев, Г.М.Пхакадзе, Т.К.Лепин, И.Ф.Бордзиа [11].

ею до ухода на фронт в 1941-м. Сменивший его П.Г.Светлов заведовал кафедрой до 1948 г. Кафедрой генетики растений с 1941 г. (после ареста Карпеченко) руководила Б.Г.Поташникова (жена И.И.Презента), с 1945-го — Н.В.Турбин (1912–1998). В 1948-м кафедры были объединены, и кафедру генетики и селекции возглавил Турбин, которого в 1954-м сменил М.С.Навашин (1896–1973). С 1957 г. кафедрой генетики и селекции заведовал М.Е.Лобашёв, с которым связано возрождение генетики в Ленинградском университете (ЛГУ).

Возрождение

В начале 1920-х годов в нашей стране начались активные дискуссии вокруг генетики и прежде всего по проблеме наследования признаков, приобретаемых в онтогенезе. В них принимал активное участие и Филипченко. Увы, эти дискуссии носили определенный идеологический оттенок. Эти тенденции только окрепли в 1930-е и привели в предвоенные годы к разгрому отечественной генетики, завершившемуся уже после войны августовской сессией ВАСХНИЛ 1948 г. Мы хорошо знаем, чем это кончилось. Были арестованы Н.И.Вавилов

(погиб в саратовской тюрьме), Г.Д.Карпеченко (расстрелян) и другие видные генетики. Все убежденные генетики и им сочувствующие были уволены из ЛГУ и из других учебных заведений и исследовательских лабораторий АН СССР.

Символом сопротивления этому антинаучному беспределу был выпускник кафедры генетики животных 1935 г. — И.А.Рапопорт (1912–1990). Этот замечательный ученый, сделавший большой вклад в изучение химического мутагенеза, сражавшийся на фронтах Великой отечественной войны и на сессии ВАСХНИЛ, назвал вещи своими именами и позже не отказался от своих убеждений. Об этом мужественном человеке сняты документальные фильмы «Рапопорт Иосиф Абрамович. Острова» (реж. Е.С.Саканян) и «Наука побеждает. Подвиг комбата» (реж. В.А.Глазунов).

После августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 г. кафедра генетики ЛГУ стала одним из главных центров возрождения отечественной генетики в 50–60-х годах XX в. Эти события связаны с именем М.Е.Лобашёва (1907–1971) [4, с.223–249], заведовавшего кафедрой с 1957 по 1971 гг. Ранние годы биографии Михаила Ефимовича (далее М.Е.) хорошо известны из романа В.Каверина «Два ка-



М.Е.Лобашёв. 1930-е годы.

питана», в котором М.Е. послужил прототипом Сани Григорьева. Еще в школе-коммуне, куда направили беспризорника Лобашёва, обнаружился его художественный талант. Там он занимался в кружке изобразительного искусства. После школы М.Е. колебался, куда поступать: в ЛГУ или в Академию художеств, куда его брали без экзаменов, познакомившись с его живописью и фотографиями скульптур. Перефразируя высказывание Гуго Илтиса (Hugo Iltis) — биографа Г.Менделя [12], о Лобашёве можно сказать: «Еще немного, и в Ленинграде стало бы одним представителем социалистического реализма больше и одним крупным ученым меньше».

В 1929 г. Лобашёв поступил в ЛГУ, а на следующий год, в год смерти Филипченко, пришел на кафедру генетики. (Тогда же поступил в ЛГУ и Рапопорт.) В отличие от Владимирского М.Е. не стал сторонником наследования приобретенных признаков, но интерес к изменчивости сохранил на всю жизнь. В Институте генетики, куда он был зачислен после окончания университета, М.Е. познакомился с Н.И.Вавиловым и был очарован силой его личности и талантом ученого. Там же подружился с Лусом и американскими генетиками Бриджесом и Мёллером, которых считал «лучшими дрозофилистами мира». В 1935 г. М.Е. защитил кандидатскую диссертацию на тему «О природе действия химических факторов на мутационный процесс», которую высоко оценил Мёллер —

один из его оппонентов. Эти исследования позднее воплотились в физиологической гипотезе мутационного процесса (тема докторской диссертация 1946 г., которую М.Е. защитил вскоре после возвращения из действующей армии), где впервые в мире были поставлены рядом понятия «мутация» и «репарация». В настоящее время зависимость мутагенеза от состояния систем репарации ДНК общепризнана. Автор физиологической гипотезы, увы, вскоре был лишен возможности разрабатывать ее далее. В январе 1948 г. Лобашёва избрали деканом биологического факультета ЛГУ, а августе 1948 г. (после сессии ВАСХНИЛ) все генетики и им сочувствующие были изгнаны из университетов страны. Спасибо Л.А.Орбели, который взял М.Е. в Колтуши, где он стал еще и профессором физиологии.

После возвращения на кафедру в 1957 г., теперь в качестве ее заведующего, М.Е. продолжил разработку физиологической гипотезы мутационного процесса вместе с К.В.Ватти и М.М.Тихомировой. Они исследовали у дрозофилы зависимость судьбы предмутационных (первичных) повреждений хромосом, индуцированных мутагеном (рентгеновыми лучами) от последующего немутагенного воздействия (повышенной температурой). Само повышение частоты мутаций при таком «последствии» и доказывало реальность предмутационных изменений.

Одновременно М.Е. активно развивал оригинальное направление исследований: системный контроль генетических и цитогенетических процессов, в котором также воплотился его дар предвидения в науке.

Еще одна тема, которую разрабатывал Лобашёв, вернувшись в университет, — концепция сигнальной (или культурной) наследственности. Эта концепция послужила для него не только научным, но и этическим принципом. Прежде всего, он выдвинул лозунг «Кадры для кадров!», и первой его заботой было восстановление преподавания генетики в университете. С 1957 г. М.Е. читал курс общей генетики, который затем стал основой его учебника «Генетика» (1963, 1967). Накануне выхода учебника его рукопись, неизвестно как, оказалась в Ленинградском обкоме КПСС. Н.С.Хрущев, тогда генеральный секретарь ЦК КПСС, благоволил к Лысенко. Все едва не закончилось драматически и для Лобашёва, и для кафедры. Ситуацию спасло то, что в 1964 г. Пленум ЦК КПСС освободил Хрущева от всех занимаемых им должностей.

Огромное значение для воспитания подрастающего поколения генетиков имели организованные М.Е. лекции и выступления «недобитых морганистов»: А.А.Прокофьевой-Бельговской, С.И.Алиханяна, Н.В.Тимофеева-Ресовского, П.М.Жуковско-

го и др. Читали лекции и приезжавшие теперь в СССР зарубежные генетики: Ш.Ауэрбах (Англия), Д.Бойс (Канада), Д.Льюис и К.Маркерт (США), Б.Эфрусси, Н.Плюс и П.Слонимский (Франция) и др. При первой же возможности М.Е. стал посылать своих молодых сотрудников на зарубежные стажировки. Кафедра организовала и провела ряд конференций, которые готовили всем коллективом.

В 1960-х годах на кафедре было уже три специализации: кроме животных (дрозофила, куры, мыши) и растений (рожь, редис, томаты, горох и др.) получили «права гражданства» и микрорганйзмы. Дрожжи-сахаромицеты «внедрил» на кафедру И.А.Захаров (первый заведующий лабораторией генетики микроорганизмов, которого после 1964 г. сменил К.В.Квитко, занимавшийся генетикой водорослей. На кафедре стало четыре исследовательские лаборатории. Несмотря на дифференциацию тематики, была сформулирована единая широкая проблема: «Системный контроль генетических и цитогенетических процессов». В настоящее время такой объединяющей тематикой в работе кафедры служит проблема «Механизмы интеграции генетических процессов».



Н.В.Тимофеев-Ресовский и М.Е.Лобашёв. 1960-е годы.

тенденции к новому синтезу в теории эволюции. Е.М.Лучникова (1933–2001) и ее молодые коллеги разработали элементарную эколого-генетическую модель «дрожжи–дрозофила», в которой было показано влияние изменчивости метаболизма стерина у вида-продуцента (дрожжей) на генетические процессы у вида-потребителя (дрозофилы). В дальнейшем эколого-генетический подход оказался весьма продуктивным в изучении процессов взаимодействия почвенного микробиома и высших растений в фиксации азота. На этой базе ака-

Новая и новейшая истории кафедры

Дальнейшее развитие направлений научной школы, заложенных ее основателями — Ю.А.Филиппенко, а затем М.Е.Лобашёвым, происходит с привлечением современных подходов. Это, прежде всего, частная генетика растений, в особенности совершенствование генетических коллекций ржи, начатое В.С.Федоровым (1903–1976) в лаборатории генетики растений. Создание синтетических популяций тетраплоидной ржи вылилось в получение первого сорта этой серии «Ленинградская тетра», районированного на северо-западе СССР. После кончины Федорова лабораторией заведовала Т.С.Фадеева, ее сменил ученик Федорова В.Г.Смирнов, а позже — А.В.Войлоков.

Идеи системного контроля генетических процессов развил Л.З.Кайданов, изучавший связи характера наследственной изменчивости (транспозонного «мутагенеза») и направления отбора в инбредных линиях дрозифилы, а сейчас работами по мутагенному эффекту стресса у мышей руководит Е.В.Даев. На кафедре возникло новое направление — экологическая генетика как отражение



Е.М.Лучникова и С.Г.Инге-Вечтомов. Старый Петергоф, начало 1980-х годов.



С.Фогель, Д.А.Горденин и Н.Н.Хромов-Борисов на Советско-Американском совещании по молекулярной генетике дрожжей и энтомопатогенных микроорганизмов. Ленинград, 1975 г.

демик И.А.Тихонович, уже во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственной микробиологии, которым он руководит с 1986 г., перейдя туда с кафедры в 1979 г., сформулировал принцип дополнительности во взаимодействии генетических процессов почвенного микробиома (бактерий, грибов) и высших растений. Эти работы Тихонович ведет в содружестве с нашей кафедрой — точнее с лабораторией генной и клеточной инженерии (заведующая Л.А.Лутова), которая развивает методы генетического анализа морфогенеза и регуляции действия гена у растений, как *in vivo*, так и *in vitro*.

Физиологическая гипотеза (теория) мутационного процесса получила дальнейшее развитие благодаря основательной разработке частной генетики дрожжей-сахаромицетов в лаборатории физиологической генетики кафедры, а также в лаборато-



М.Д.Тер-Аванесян и Т.Р.Сойдла в лаборатории физиологической генетики. БиНИИ, Старый Петергоф.

рии мутагенеза и генетической токсикологии Санкт-Петербургского филиала ИОГена (заведующая Е.И.Степченкова). Отталкиваясь от явления «незаконной» гибридизации гаплоидов одинакового типа спаривания $\alpha \times \alpha$ (α -тест), удалось показать и количественно охарактеризовать фенотипическое проявление тех изменений генетического материала, которые Лобашёв называл предмутационными. Ныне их именуют первичными повреждениями генетического материала. Как оказалось, в наследуемые изменения генома из них превращаются всего около 1/10 в зависимости от состояния систем репарации. Трудно переоценить перспективы α -теста и в генетической токсикологии.

Еще ранее перспективной оказалась разработка мутационной системы *ade1-ade2* у дрожжей-сахаромицетов, начатая нами в 1960-х годах в лаборатории генетики микроорганизмов и продолженная в лаборатории физиологической генетики в соответствии с «модой» тех лет в области изучения структуры и функции гена. Изучение мутационного процесса (С.Г.Инге-Вечтомов, С.А.Кожин, Б.В.Симаров, Н.Н.Хромов-Борисов), межallelной комплементации (Т.Р.Сойдла) и внутригенной рекомбинации (Д.А.Горденин) позволило выйти на генетический контроль трансляции и помогло позже Г.А.Журавлевой идентифицировать факторы терминации трансляции в совместных работах с москвичами (Л.Л.Киселев и др.) и французами (М.Филипп и др.). Более того, один из генов, контролирующих терминацию трансляции был нами (Ю.О.Чернов, И.Л.Деркач, С.Г.Инге-Вечтомов и др.) идентифицирован как структурный ген фактора [PSI], оказавшегося позже первым подробно изученным прионом дрожжей [13]. Так мы оказались вовлеченными в работы по механизмам «белковой наследственности» и амилоидогенезу (А.П.Галкин ведет эти работы в Санкт-Петербургском филиале ИОГена). Серьезный вклад в это направление внес Ю.О.Чернов, увы, уже работая за пределами нашей страны, как и И.Л.Деркач. Успешно продолжают исследования мутационного процесса и канцерогенеза Ю.И.Павлов и Д.А.Горденин — тоже, увы, не на родине.

Разработка системы ген—фермент *ade1-ade2* дрожжей-сахаромицетов опиралась на биохимические исследования группы в лаборатории физиологической генетики, а в дальнейшем самостоятельной лаборатории биохимической генетики

под руководством М.Н.Смирнова (1938–2012), а затем М.В.Падкиной. Эта лаборатория довольно скоро сделала акцент на биотехнологии, на разработке дрожжей-продуцентов биологически активных соединений, в частности интерлейкина и интерферона млекопитающих. Более того, недавние успехи лаборатории в союзе с лабораторией Л.А.Лутовой привели к созданию «зеленой вакцины» — продуцентов интерферона на базе высших растений.

Существенную роль в нашей работе сыграли и некоторые организационные мероприятия. Так, в 1974 г. вышло Постановление «О развитии молекулярной биологии и молекулярной генетики и использовании их достижений в народном хозяйстве», согласно которому в ЛГУ должен был быть построен «корпус молекулярной генетики и молекулярной биологии». С одной стороны, это было актом признания достижений нашей генетической школы, а с другой стороны — хлопоты, которые может оценить только тот, кто ввязывался в подобные истории. Так или иначе, но в 1986 г. корпус был сдан в эксплуатацию, и все лаборатории генетики БиНИИ объединились, наконец, под одной крышей. Новые помещения обрели и некоторые другие лаборатории.

В 2003 г. в нашем университете был организован Научно-образовательный центр «Молекулярно-биологические основы здоровья человека и окружающей среда СЗ РФ» (далее Центр), объединивший: университетскую кафедру генетики, отдел биотехнологии Института сельскохозяйственной микробиологии (тогда РАСХН), лабораторию пренатальной диагностики Института акушерства и гинекологии имени Д.О.Отта РАМН. Позже, в 2005 г., к Центру примкнул вновь организованный Санкт-Петербургский филиал ИОГена. Этот союз позволил нам расширить базу подготовки специалистов, а также позволил институтам-участникам Центра готовить кадры целенаправленно под свою проблематику.

Еще один аспект нашей истории как учебно-научного подразделения — формирование единой системы генетического образования и собственно единение науки и образования.

Наука и образование: парадигма и парадоксы

Социальная сущность *Homo sapiens* — человека разумного, основанная на передаче опыта между поколениями, сыграла решающую роль в ускорении его эволюции. Достаточно напомнить, что позвоночные, выйдя на сушу, эволюционировали 40 млн лет, прежде чем поднялись в воздух, а человек вышел в космос в течение одного поколения. С другой стороны, «дети-маугли», воспитанные животны-



Д.А.Горденин и Ю.И.Павлов. США, 2016 г.

ми, уже не могут стать полноценными членами человеческого общества.

Исследовательская деятельность и передача полученных знаний следующему поколению стали основой прогресса человечества, основой его культурной эволюции. Каждое следующее поколение оказывается «умнее» предыдущего. Возникает закономерный вопрос: хорошо ли мы понимаем, как и чему нужно учить наших студентов, чтобы они становились умнее нас? Что общего между добыванием новых знаний и процессом обучения, в частности в университетах?

Можно ли сделать человека талантливым? Талант зависит от редкого сочетания наследственных задатков, его привить нельзя, но ему можно помочь. О важности и сложности этой проблемы писал еще Ю.А.Филипченко в статье «Интеллигенция и таланты» [14].

Мы можем искать помощь, чтобы ответить на поставленные вопросы в эпистемологии — философско-методологической дисциплине, которая исследует научное знание, его строение, структуру,

функционирование и развитие. Она дает нам представление о структуре научного метода, знакомство с которым должно лежать в основе как любого исследования, так и преподавания любой научной дисциплины.

Эпистемология — несомненно, гуманитарная область, знакомство с которой необходимо будущим специалистам любого профиля. Гуманитарная составляющая вообще плохо представлена в учебных планах естественнонаучных дисциплин. Постараюсь обосновать, почему это плохо и почему гуманитарная составляющая должна присутствовать во всяком образовании.

В первую очередь необходимо акцентировать представления о структуре научного метода, основанного на познании окружающего мира экспериментальным путем, выдвижении и проверке гипотез, их уточнении и тем самым — приближении к истине.

Необходимо давать историю развития и эволюции преподаваемой дисциплины. Всякое образование есть процесс парадигмальный, т.е. осуществляемый в рамках существующей парадигмы, или системы общепринятых представлений. Понятие научной парадигмы ввел Т.Кун в своем труде «Структура научных революций», но так и не дал его определения, хотя широко использовал в этой книге [15]. Это понятие практически определил Н.Н.Хромов-Борисов, который дал полужутливое определение науки вообще: «Наука это — круговая порука гипотез». Замените здесь «науку» на «парадигму» и получите определение последних.

Во всякой преподаваемой дисциплине необходимо показывать исторический процесс эволюции парадигмы, точнее, смены и преемственности парадигм. Кун показал, что изменению парадигмы предшествует появление «аномалий», которые не укладываются в существующую парадигму [15]. Я бы предложил называть их *парадоксами* как антонимы парадигмы. Отслеживание смены парадигмы позволяет вскрыть и показать тенденции в развитии данной науки и тем самым помогает молодым (как студентам, так и исследователям) выбрать направление в науке, грамотно «вписаться» в ее динамику.

Особое значение имеет демонстрация парадоксов, возникающих в рамках существующей парадигмы, но уже не укладывающихся в нее. При этом парадоксы должны быть хорошо документированы, обоснованы и воспроизводимы.

Общая тенденция развития генетики: от абстрактных менделевских факторов к генам в виде нуклеотидных последовательностей ДНК. Возможны варианты. Здесь показана только тенденция развития представлений о материальных носителях наследственности — генетического материала.

На этом пути можно отследить различные сменявшие друг-друга парадигмы, когда результаты, казавшиеся парадоксальными, становились зачатками новой парадигмы, включающей предыдущую в виде составляющей. Последний пример такого парадокса — явление белковой наследственности, открытое на рубеже XX и XXI веков. Я имею в виду открытие инфекционных белков-прионов. Новая парадигма — матричный принцип, объединивший и ДНКовую и белковую наследственность.

Так возникли представления о матрицах первого рода, или линейных — полинуклеотидных матрицах, впервые фигурировавших в центральной догме молекулярной биологии Ф.Крика (можно начинать вообще с Н.К.Кольцова, 1928 г.), и матрицах второго рода, или конформационных (пространственных) — белковых матрицах. Что дальше? По-видимому, синтез матричного принципа и того, что сейчас называют «эпигенетикой».

Здесь важно отметить, что, привлекая внимание студентов к парадоксам, вы показываете им путь к открытиям, показываете «дорогу к славе», но отнюдь не к спокойной жизни, а науке это придает дальнейшее ускорение. В свете всего сказанного, с учетом терминологических уточнений, приходится только удивляться гению Пушкина, написавшего 180 лет назад: «О сколько нам открытий чудных / Готовит просвещенья дух: / И опыт — сын ошибок трудных, / И гений — парадоксов друг...». Эти слова гармонируют с современным пониманием значения и путей развития науки и образования.

Соотношение парадигмального подхода, доминирующего в преподавании, и внимания к парадоксам, их поиски и разработка, которые составляют смысл научного поиска, должны определять систему образования, в том числе и в генетике: набор и чередование курсов в течение всего времени обучения. Превращение парадокса в основу следующей парадигмы заставляет нас пересматривать и совершенствовать наши учебные планы как в смысле набора курсов, так и в смысле их последовательности. Это и позволяет разрабатывать и поддерживать систему (генетического) образования, пытаться определять перспективу развития нашей науки. Не видим ли мы в этих положениях сходства с основным биогенетическим законом Э.Геккеля — Ф.Мюллера — онтогенез повторяет филогенез?

И если мы искренне хотим, чтобы «они стали умнее нас», то это подразумевает еще и некоторые взаимные моральные обязательства между учителем и учениками. Это, прежде всего, взаимное доверие и отсутствие ревности со стороны учителя по отношению к ученикам, которые становятся умнее учителя. Это и настрой учеников, которые должны понимать роль своих учителей, помогаю-

ших молодому поколению определить его место в науке с учетом тенденций ее развития.

В заключение — о трудностях, которые препятствуют развитию той оптимистической точки зрения, которую я изложил. Это, прежде всего, засилье так называемых эффективных менеджеров,

в том числе и в руководстве наукой и образованием в особенности. Псевдодемократия, в соответствии с которой бакалавр любой специальности имеет право поступать в любую магистратуру и выбирать себе курсы, не имея представления о единой системе образования по предмету. ■

Литература / References

1. Генетика вчера и сегодня. К 100-летию кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета. Ред. С.Г.Инге-Вечтомов. СПб., 2019. [Genetics: Yesterday and Today. For the 100th Anniversary of the Department of Genetics and Biotechnology, St. Petersburg State University. Inge-Vechtomo S.G. (ed.). St. Petersburg, 2019. (In Russ.).]
2. Урсу Д. Генетика в Одессе: сто лет борьбы, побед и поражений. Одессика. Историко-краеведческий научный альманах. Одесса, 2012. [Ursu D. Genetics in Odessa: one hundred years of struggle, victories and defeats. Odessika. Historical and Local Lore Scientific Almanac. Odessa, 2012. (In Russ.).]
3. Инге-Вечтомов С.Г. Ю.А.Филиппченко — ученый, педагог и организатор науки. Экологическая генетика. 2007; 5(2): 3–11. [Inge-Vechtomo S.G. Filipchenko Yu.A. — scientist, pedagogue, and manager of science. 2007; 5(2): 3–11. (In Russ.).]
4. Инге-Вечтомов С.Г. Ретроспектива генетики. СПб., 2015; 177–197. [Inge-Vechtomo S.G. A retrospective of genetics. St. Petersburg, 2015; 177–197. (In Russ.).]
5. Филиппченко Ю.А., Лепин Т.К. Генетика мягких пшениц. М.; Л., 1934. [Filipchenko Yu.A., Lepin T.K. The genetics of soft wheats. Moscow; Leningrad, 1934. (In Russ.).]
6. Конашëв М.Б. Бюро по евгенике (1922–1930). Исследования по генетике. СПб., 1994; 11: 22–28. [Konashev M.B. The Bureau of Eugenics (1922–1930). Issledovaniya po genetike. St. Petersburg, 1994; 11: 22–28. (In Russ.).]
7. Филиппченко Ю.А., Морган Т.Х. Наследственны ли приобретенные признаки. Л., 1925. [Filipchenko Yu.A., Morgan T.H. Are acquired characteristics inherited. Leningrad, 1925. (In Russ.).]
8. Инге-Вечтомов С.Г. История о том, как Филиппченко дружил с Морганом и послал к нему Добжранского, как Кольцов отправил в Германию Тимофеева-Ресовского, а тот посоветовал Меллеру ехать в Ленинград к Вавилову и что из этого вышло. Экологическая генетика. 2004; 2(4): 5–11. [Inge-Vechtomo S.G. Story about how Filipchenko got along with Morgan and sent to him Dobzhansky, how Koltsov directed to Germany Timofeev-Ressovsky, who advised Muller to go to Vavilov in Leningrad and what came out of it. Russian Journal of Genetics. 2004; 2(4): 5–11. (In Russ.).]
9. Dobzhansky Th. Genetics and the origin of species. Columbia University Biological Series. N.Y., 1937; 11.
10. Прокофьева-Бельговская А.А. Портрет на фоне хромосомы. Ред. Н.А.Ляпунова, Ю.Ф.Богданов. М., 2005. [Prokofieva-Belgovskaja A.A. Portrait on chromosome background. N.A.Lyapunova, Yu.F.Bogdanov (eds.). Moscow, 2005. (In Russ.).]
11. Медведев Н.Н. Юрий Александрович Филиппченко. М., 1978. [Medvedev N.N. Filipchenko Iurii Aleksandrovich. Moscow, 1976. (In Russ.).]
12. Iltis H. Gregor Johann Mendel, Leben, Werk und Wirkung. Berlin, 1924. [English translation: «Life of Mendel». L., 1932.]
13. Wickner R.B. [URE3] as an altered URE2 protein: evidence for a prion analog in *Saccharomyces cerevisiae*. Science. 1994; 264: 566–569.
14. Филиппченко Ю.А. Интеллигенция и таланты. Известия Бюро по евгенике АН СССР. 1925; 3: 83–101. [Filipchenko Yu.A. Intellectuals and talents. Bulletin of the Bureau of Eugenics, USSR Academy of Sciences. 1925; 3: 83–101. (In Russ.).]
15. Кун Т. Структура научных революций. М., 2003. [Kuhn T. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago, 1962.]

The Century History of the First Department of Genetics in Russia

S.G.Inge-Vechtomo^{1,2}

¹Saint Petersburg Branch, Vavilov Institute of General Genetics, RAS (Saint Petersburg, Russia)

²Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia)

Yu.A.Filipchenko established Department of Genetics and Experimental Zoology in Petrograd University at 1919 (Dept. of Genetics and Biotechnology of Biological Faculty at Saint Petersburg University now). It was the first Dept. of Genetics in our Country, which plaid the key part in development of our gene-tics and it's restoration after the period of Iysenkoism. You may read about those events in collective issue of department scientists "Genetics Yesterday and Today" [1]. This paper is based upon the plenary lecture by the academician S.G.Inge-Vechtomo (chairman of the Department in 1972–2015) which he presented to the International Congress "VII meeting of Vavilov Society of Geneticists and Breeders, dedicated to the 100th anniversary of the Department of Genetics of St-PbSU" (Saint Petersburg, June 18–22, 2019).

Keywords: history of genetics, the first genetics department, science and education problems.

Первые собаки: когда и где?

В.Я.Сергин

Институт археологии РАН (Москва, Россия)

В последние десятилетия считается, что появление первых собак относится к разным периодам верхнего палеолита (около 40–10 тыс. лет назад). Наиболее убедительны данные палеозоологов, которые, используя традиционные, некалиброванные датировки по ^{14}C , определили, что одомашнивание (доместикация) волка произошло около 13 тыс. лет назад в разных регионах Евразии. Действительно, этот процесс не был моноцентричным и, вероятно, протекал в Западной Европе и на Ближнем Востоке. Еще один очаг доместикации мог находиться где-то на восточном краю Азии.

Ключевые слова: палеолит, Евразия, доместикация волка, очаг доместикации, собаки.

Как человек приобрел себе верного друга и помощника? По распространенному представлению, в древние времена в условиях конкуренции стаи наименее пугливых волков постепенно переходили на питание отбросами возле человеческих жилищ. Заинтересованные в удобной нише хищники становились менее опасными для людей. Дружелюбные особи вступали с людьми в контакт. Иногда люди брали щенков, и выросшие среди людей волчата считали их членами своей стаи. Связи укреплялись, и через некоторое время уже мог происходить отбор более уживчивых особей.

Одна из слабых сторон имеющихся представлений об одомашнивании волка — недостаточная определенность в отношении времени и места протекания процесса. А эти характеристики не были формальными координатами.

Когда?

В середине XIX в. в раскопках памятников первобытности, наиболее известными из которых были свайные поселения швейцарских озер, начали попадаться кости собак. Вначале они касались эпохи бронзы и неолита, а в XX в. такие находки стали нередкими на мезолитических стоянках, древность которых доходит до грани голоцена с плейстоценом (около 10 тыс. лет назад). К мезолиту и относили время появления собак, хотя отдельные случаи склоняли к предположению: не произошло ли это раньше? Наконец, раскопки послед-



Виктор Яковлевич Сергин, доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Института археологии РАН. Область научных интересов — поселения эпохи палеолита, взаимосвязи человека с природной средой.
e-mail: sergin81@bk.ru.

них десятилетий прошлого века и начала нынешнего на Ближнем Востоке и в Европе увенчались обнаружением костей собак конца верхнего палеолита (13–11 тыс. лет назад*). Их изучение и разработка проблем появления нового вида находились полностью в руках палеозоологов. Теперь в литературе по ранним собакам преобладают исследования генетиков.

Под занавес прошлого тысячелетия произвела фурор работа, авторы которой, изучив митохондриальную ДНК современных волков Евразии, Северной Америки и собак разных пород, пришли к выводу, что отделение общего предка собак от волка произошло гораздо раньше — 135 тыс. лет назад [1]. Новость граничила с чудом. Она вызвала энтузиазм и попытки специалистов пересмотреть устоявшиеся позиции. Расчеты велись на основе генетических различий волков и койотов, возникших у них после разделения материнского вида около 1 млн лет назад. Доля отличий, приходящаяся на единицу времени, послужила «молеку-

* Здесь и далее используются некалиброванные датировки по ^{14}C .

лярными часами», которые указали на годы, прошедшие после обособления собак от волков.

В расчетах использован только один вариант, определяющий момент расхождения видов, однако существуют и другие. Например, установлено, что разделение волка и койота произошло 4.5–1.5 млн лет назад [2]. Это означает, что и собаки могли возникнуть раньше, чем считалось. В таком случае (в соответствии с предложенной датой) на многочисленных раскопанных поселениях древностью 135–14 тыс. лет назад должны быть кости собак. Однако их нет. В статье это объяснялось тем, что собаки, жившие более 13 тыс. лет назад, физически не отличались от окружавших их диких сородичей. Различия с ними стали возникать при переходе групп людей к земледелию. Тогда собаки были поставлены в условия селективного режима, изменились, и их останки приобрели узнаваемый облик.

Как в течение 125 тыс. лет могли существовать животные с рассогласованным физическим и генетическим развитием? Такой вопрос не ставился. Во всяком случае, собаки, которые никак не проявили себя в течение этого времени — фантом. Не отличаясь от волков, они могли быть только волками. К настоящему времени указание на запредельную древность собак мало кого убеждает. Однако безразмерные генетические датировки продолжают выноситься в общенаучный поток.

Другой коллектив исследователей, отчасти совпавший с предшествующим, отнес время одомашнивания волка к 40 или 15 тыс. лет назад, признавая наиболее оптимальной последнюю дату [3]. Считается возможным также датировать это событие 13–9 тыс. лет назад. Но, исходя из низких значений генного дрейфа, предпочтение отдано времени около 30 тыс. лет назад в общем диапазоне 15–90 тыс. лет [4]. Подобные хронологические определения обусловлены спецификой генетических материалов и, вероятно, удобны для внутреннего использования. Но, транслируемые вовне, они могут вносить путаницу в расчеты времени.

«Удревнение» генетиками родословия собак побудило к пересмотру ряда остеологических коллекций палеолитических поселений. В некоторых случаях были выделены кости *Canidae*, принадлежавшие, по мнению специалистов, собакам ранней стадии domestikации. В Европе это находки в бельгийской пещере Гойе, на поселении Пржедмость в Чехии и на поселениях бассейна Днепра (Елисеевичи, Мезин, Межирич) [5, 6]. Часть находок не раз переопределялась палеозоологами, но изменения в методике обработки материалов подавали надежду плотнее приблизиться к границе, разделявшей волка и собаку.

Подобные исследования, естественно, привлекают к себе пристальное внимание. Помимо суж-

дения о систематическом положении образцов, вынесенного на суд специалистов, существенно нахождение их во времени и пространстве. Остатки *Canidae* из Гойе датируются 31.7 тыс. лет, пржедмостьские — 27–26 тыс. лет, днепровские — 14 тыс. лет с возможной несколько большей древностью мезинского *Canidae*.

Исходя из хронологического и пространственного разброса образцов, можно было ожидать, что речь пойдет о процессе domestikации, начало которой отмечает находка в Гойе, а продолжение — Пржедмость и затем памятники бассейна Днепра. Но этого не предполагается. Более того, подчеркнута значительная морфологическая близость костных остатков, и все животные равно отнесены к начальной стадии domestikации. Однако столь длительная неизменность признаков исследованных *Canidae* может свидетельствовать лишь о том, что они не покидали естественной среды.

Наличие собак трудно было бы увязать и с контекстом поселений. Основу жизнеобеспечения на указанных памятниках Центральной и Восточной Европы составляла охота на мамонта. Но для получения шкур обитатели днепровских поселений добывали также волков и песцов. В раскопках Мезина насчитано 69 особей волка и 112 — песца [7], в Елисеевичах — соответственно 42 и 301 [8]. После снятия шкур туши не использовались, и большинство костей сохранилось в виде анатомически связанных групп и отчасти почти целых скелетов. Едва ли возможно, чтобы собаки, если они имелись на поселениях, игнорировали это изобилие.

Реальное положение вещей проглядывает в состоянии черепных костей *Canidae* из Пржедмости, определенных в качестве волков и собак. Значительная часть черепов имеет различные повреждения. Наличие травм у волков объясняется авторами сопротивлением крупных травоядных, борьбой за доступ к добыче, использованием мерзлого мяса, больших костей и др. Подобные же повреждения черепных костей предполагаемых собак связываются с побоями при дрессировке полудиких животных. Думается, однако, что все *Canidae* из Пржедмости относятся к одной систематической группе, к волкам, дорогой ценой добывавших себе пищу. К такому же определению *Canidae* рассматриваемой группы приводит переоценка их морфометрических данных [9].

Пересмотр коллекций на предмет выявления древнейших собак коснулся Разбойничьей пещеры на Алтае. Среди найденных в ней костей, ранее отнесенных к волкам, были выделены череп и нижняя челюсть, по мнению специалистов, принадлежащие скорее «возникающей» собаке, чем отклонившемуся от нормы волку. Даты по взятым из костей образцам — 29 950–27 850 лет. [10]. Верхнеплейстоценовые слои, в которых найдены череп

и челюсть, вскрыты в 50 м от входа в пещеру. В них имелись кости бурого медведя, барсука, дикой лошади, благородного оленя. Однако 15% от числа млекопитающих составляли волки, 20% — лисицы, более 50% — гиены.

Особенность ситуации состоит в условиях, необычных для находок остатков древнейших собак. Все они сделаны на поселениях человека, тогда как Разбойничья пещера была непригодна для обитания людей и на протяжении длительного времени попеременно служила логовом разных хищников. В радиусе 50–60 км вокруг нее находится около 10 пещер, включая знаменитую Денисову. Использование некоторых из них людьми могло совпасть с обитанием отмеченной особи в Разбойничьей пещере, но в них нет и намека на возможное присутствие собак. Условия времени и места, как представляется, позволяют говорить лишь о том, что один из волков Разбойничьей пещеры имел некоторые морфологические отличия от других. Эти соображения совпадают с оценкой находки палеозоологами, изучающими проблему происхождения собак [9, 11].

Таким образом, постепенное углубление периода появления собак остановилось на 13 тыс. лет назад. Попытки выявить более древние остатки или отодвинуть грань, разделяющую волка и собаку, с помощью генетических расчетов не дали убедительных результатов.

Где?

В уже упомянутой работе [3] в качестве границы между западной и восточной частями Евразии принята линия Урал — Гималаи. За ней у собак отмечено наибольшее генетическое разнообразие, и к характерным восточнымкладам А и В отнесено 88% собак. Дальнейшую разработку гипотезы восточного происхождения собак предложили большие исследовательские группы. Одна из них локализовала очаг domestikации в области южнее р. Янцзы и сочла его единственным для всех собак [12]. Наиболее древняя находка, согласно авторам, датируется 7.1 тыс. лет, а генетические расчеты помещают время появления собак в расплывчатые рамки 16.3–5.4 тыс. лет.

По более полным данным, в провинциях Юго-Восточного Китая (в основном бассейн среднего и нижнего течения р. Янцзы) наиболее ранние собаки датируются в интервале 7.4–4.2 тыс. лет. Лишь в провинции Чженцзян они древнее — до 8.2–7.0 тыс. лет. Близки к ним максимальные датировки находок в Восточном и Северо-Восточном регионах. В Центральном и Западном они доходят до 9 тыс. лет [13]. В Северном Китае остатки собаки датированы около 10 тыс. лет, но промеры костей не публиковались [14].

Наличие центра domestikации, очевидно, не подкрепляется ни хронологическими расчетами на основе генетических данных, ни датировкой памятников, содержащих остатки собак. В пользу его существования, как полагают, свидетельствуют результаты проведенного исследования. Установлено, что полный диапазон генетического разнообразия, т.е. все свойственные собакам 10 гаплогрупп, характерны только для животных, обитающих южнее р. Янцзы. За пределами этой области разнообразие постепенно сокращается. В Центральном Китае у собак отмечено только 7 из 10 гаплогрупп, в Северном Китае и Юго-Западной Азии — 5, а в наиболее отдаленной Европе — 4.

Следующий из этого соотношения вывод о происхождении собак на юго-востоке Китая и диффузии их в дальнейшем по Старому Свету формально выглядит убедительно. Но в отрыве от историко-географического контекста это лишь иллюзия решения вопроса. Где бы ни появились первые собаки, в эпоху бронзы они имелись везде. С этого времени значительно возросла интенсивность территориальных связей (переселения, обмен, торговля, войны) и должен был идти процесс генетического обмена и нивелирования различий у собак. В результате на основной части Евразии собаки стали обладать указанным Ж.-Ф. Пангом с коллегами средним количеством гаплогрупп: 4–6.

Резкое отличие в этом отношении собак области южнее р. Янцзы связано с ее географическим положением, которое в значительной степени изолировало ее от других областей и регионов. Отгороженность области сказывалась еще с каменного века. Время и источник появления собак южнее р. Янцзы выяснятся в будущем, но наличие у них нескольких гаплогрупп сверх среднего их значения на территории Евразии можно объяснить лишь выработкой дополнительных гаплогрупп на местной основе. Собаки Центрального Китая испытывали заметное внешнее влияние и поэтому обладают только одной гаплогруппой, не поступившей в евразийский обмен, а собаки северных областей страны были полностью включены в него.

На обнаружение единственного очага одомашнивания волка, располагавшегося на этот раз в Центральной Азии, претендует другая группа специалистов. Проведенные ею исследования показали, что некоторые генетические особенности, присущие собакам Центральной Азии, у собак окружающих областей встречаются в разрозненном виде. В связи с этим отличия центральноазиатских собак приняты за унаследованные ими от волков в процессе domestikации, а более слабая выраженность выделенных признаков у собак соседних областей объяснена утратой их по мере распространения древних собак [15].

В данном случае, как и в предыдущем, полезно выйти за пределы узкопрофессиональных, кажущихся самодостаточными процедур. К востоку от Центральной Азии, в Китае, как отмечено, древнейшие собаки относятся к неолиту и датируются 9 или, возможно, 10 тыс. лет. К северу и к северо-западу: в Прибайкалье, на Алтае и в Казахстане ранние находки собак относятся к энеолиту и датируются 5–6 тыс. лет. Встреченные далее к югу, в Узбекистане, наскальные изображения собак определены как мезолитические. Во всех этих случаях свидетельства присутствия собак далеко отстоят от времени domestikации, а в Центральной Азии они относятся к еще более позднему времени — раннему железному веку и эпохе бронзы.

Данная ситуация обратна той, которую следовало ожидать. Вероятно, более древние собаки в Центральной Азии еще встретятся. Но максимально можно рассчитывать на находки с датировками, не превышающими возраст собак окружающих областей. А он, в свою очередь, не настолько велик, чтобы свидетельствовать о ближайшем соседстве с очагом domestikации.

Наблюдения, послужившие поводом к выдвижению гипотезы, могут объясняться географическими и историческими условиями развития региона. Обширные и в значительной степени мало пригодные для обитания пространства Центральной Азии имели в древности очень небольшое, разрозненное и разобщенное население, что



Местонахождения Canidae.

Условные обозначения:

- — финально-плейстоценовые собаки;
- — Canidae Гойе, Пржедмости, Среднего Днепра;
- ▲ — остатки собак возрастом 10–9 тыс. лет.

Несколько близких друг к другу местонахождений обозначены более крупными значками.

должно было отразиться и в филогении собак. Но в последние тысячелетия благодаря развитию кочевого скотоводства и оазисного земледелия население значительно возросло, установились и усилились внутренние связи. Это затронуло и собак, у которых выработалось больше общих признаков. Они-то, должно быть, и ввели в заблуждение авторов статьи.

Обратимся к финально-палеолитическим собакам. На Ближнем Востоке основная их часть связана с полосой средиземноморского побережья Леванта. Остатки собак найдены на поселениях натуфийской культуры, еще охотничье-собирательской, но с предпосылками перехода к земледелию. В двух случаях собаки были захоронены совместно с людьми. Восточнее, в бассейне Евфрата, остатки собаки встретились на поселении культуры зарзи, сходной с натуфийской. Наиболее удаленный пункт с костями собаки расположен в южном Прикаспии. Древность находок — до середины 13 тыс. [16].

В целом можно отметить предельную для достоверных остатков собак древность, связь их с определенной территорией и социальную значимость собак, подкрепленную захоронениями с людьми. Важны еще два обстоятельства:

1. Население, у которого имелись наиболее ранние собаки, относилось к одной культуре или к двум близким культурам. В начальный период domestikации это должно было обеспечивать обмен опытом и преемственность во все менее произвольно протекавшем процессе.

2. В той же части Ближнего Востока имеются памятники с костями собак последующего времени и хронологически всё более поздние свидетельства наличия собак. Тем самым подтверждается, что собаки финального палеолита действительно являлись предками современных собак, а не представляли случайный эпизод, бесследно канувший в прошлое. Генетика местных собак связана с волками, обитающими в полосе от Ближнего Востока до Индии [17].

В Европе памятники с финально-палеолитическими собаками расположены на территории Франции, Германии, исключая ее низменную часть, и заходят в пределы Швейцарии. По мнению, ранее более распространенному, но имеющему поддержку и в текущее время, европейские собаки произошли от ближневосточных. Однако области разделены значительным пространством, остатков позднелепесточных собак на промежуточной территории не найдено, а датировка их в обеих областях одинаковая. Собаки появлялись в новых местах с перемещением групп населения, а до становления на Ближнем Востоке производящего хозяйства серьезные стимулы для миграции в Европу отсутствовали.

Как и на Ближнем Востоке, в Европе domestikация происходила в однородной среде, представленной в данном случае мадленской культурой. Со временем заселение территорий, становившихся пригодными для жизни после деградации ледниковых покровов, привело к перемещению населения и относительной изоляции отдельных его частей. Мадленская культура переплотилась в дочерние: азильскую, федермессер, аренбургскую культуры. Связи собаки с человеком преемственно продолжились в них. Последующее приспособление населения к быстро менявшейся природной среде привело к становлению мезолитических культур и расселению собак, сопровождающих группы людей, на европейских просторах. Таким образом, и в данном случае очаг domestikации выделяется по наличию в определенной области наиболее древних собак, связанных с однородным по культуре населением, и присутствию в ней собак в последующие эпохи.

К востоку пункты с наиболее ранними собаками располагаются по краям Северной Азии: под Екатеринбургом (8635–8520 лет), на о. Жохова в Новосибирском архипелаге (около 8 тыс. лет), на юге Камчатки (11130–10040 лет), на Японских о-вах (9.3 и 8.5–8 тыс. лет) и в Центральном Китае (до 10 или 9 тыс. лет). Камчатская собака, найденная на стоянке Ушки 1, нуждается в дополнительном исследовании. Она определена по фотографии. Но необходимо отметить, что это было сделано опытным палеозоологом — Н.К.Верещагиным. Кроме того, остатки животного были найдены в индивидуальном захоронении, а захоронения собак — характерная деталь культуры, возникшая в финале палеолита и широко распространившаяся в мезолите и позднее.

К находкам восточного края Азии и островов имеет прямое отношение тот факт, что появление собак в Северной Америке датируется 10.4 тыс. лет [18]. Если учесть, что путь собак на полуостров, острова, соседний материк потребовал заметного времени, то можно заключить, что 11 тыс. лет назад собаки в этой части Азии уже имелись. В будущем выяснится, когда они там появились, но и отмеченные данные позволяют предположить, что на восточном краю Азии также существовал очаг domestikации волка, локализация которого пока неясна.

Введение на поселения волка, как впоследствии некоторых других животных, относится к основополагающим событиям в развитии первобытной культуры, которые происходили на определенной территории в исторически определенное время. Однако имеющиеся представления о domestikации волка часто строятся без учета этих условий. ■

Литература / References

1. Vilà C., Savolainen P., Maldonado J.E. *et al.* Multiple and ancient origins of the domestic dog. *Science*. 1997; 276(5319): 1687–1689. DOI:10.1126/science.276.5319.1687.
2. Ding Z.-L., Oskarsson M., Ardalan A. *et al.* Origin of domestic dog in Southern East Asia is supported by analysis of Y-chromosome DNA. *Heredity* (Edinb). 2012; 108(5): 507–514. DOI:10.1038/hdy.2011.114.
3. Savolainen P., Zhang Y.-P., Luo J. *et al.* Genetic evidence for an East Asian origin of dogs. *Science*. 2002; 298(5598): 1610–1613. DOI: 10.1126/science.1073906.
4. Skoglund P., Götherström A., Jakobsson M. Estimation of population divergence times from non-overlapping genomic sequences: examples from dogs and wolves. *Mol. Biol. Evol.* 2011; 28(4): 1505–1517. DOI:10.1093/molbev/msq342.
5. Germonpré M., Sablin M.V., Stevens R.E. *et al.* Fossil dogs and wolves from Palaeolithic sites in Belgium, the Ukraine and Russia: osteometry, ancient DNA and stable isotopes. *J. Archaeol. Sci.* 2009; 36: 478–490. DOI:10.1016/j.jas.2008.09.033.
6. Germonpré M., Lázníková-Galetová M., Sablin M.V. Palaeolithic dog skulls at the Gravettian Předmostí site, the Czech Republic. *J. Archaeol. Sci.* 2012; 39(1): 184–202. DOI:10.1016/j.jas.2011.09.022.
7. Шовкопляс И.Г. Мезинская стоянка. Киев, 1965. [*Shovkoplyas I.G. Mezin site. Kiev 1965. (In Russ.)*]
8. Величко А.А., Грехова Л.В., Грибченко Ю.Н., Куренкова Е.И. Первобытный человек в экстремальных условиях среды. Стоянка Елисеевичи. М., 1997. [*Velichko A.A., Grekhova L.V., Gribchenko Y.N., Kurenkova E.I. Early Man in the extreme environmental conditions. Eliseevichi site. Moscow, 1997. (In Russ.)*]
9. Boudadi-Maligne M., Escarguel G. Biometric re-evaluation of recent claims for Early Upper Palaeolithic wolf domestication in Eurasia. *J. Archaeol. Sci.* 2014; 45: 80–89. DOI:10.1016/j.jas.2014.02.006.
10. Ovodov N.D., Crockford S.J., Kuzmin Ya.V. *et al.* A 33,000-Year-Old Incipient Dog from the Altai Mountains of Siberia: Evidence of the Earliest Domestication Disrupted by the Last Glacial Maximum. *PLoS ONE*. 2011; 6(7): 1–7. DOI:10.1371/journal.pone.0022821.
11. Morey D.F. In search of Paleolithic dogs: a quest with mixed results. *J. Archaeol. Sci.* 2014; 52: 300–307. DOI:10.1016/j.jas.2014.08.015.
12. Pang J.-F., Kluetsch C., Zou X.-J. *et al.* mtDNA data indicate a single origin for dogs south of Yangtze River, less than 16,300 years ago, from numerous wolves. *Mol. Biol. Evol.* 2009; 26: 2849–2864. DOI:10.1093/molbev/msp195.
13. Кудинова М.А. Домашняя собака в неолитических культурах Китая. Мультидисциплинарные аспекты изучения древней и средневековой истории. Ред. А.П.Деревянко, М.В.Шуныков. Новосибирск, 2018; 96–114. [*Kudinova M.A. Domestic dog in the neolithic cultures of China. Multidisciplinary aspects of the study of ancient and medieval history. Derevianko A.P., Shunkov M.V. (eds). Novosibirsk, 2018; 96–114. (In Russ.)*]
14. Underhill A.P. Current issues in Chinese Neolithic archaeology. *Journal of World Prehistory*. 1997; 11(2): 103–160. Retrieved from: www.jstor.org/stable/25801109.
15. Shannon L.M., Boyko R.H., Castelhano M. *et al.* Genetic structure in village dogs reveals a Central Asian domestication origin. *PNAS*. 2015; 112(44): 13639–13644. DOI:10.1073/pnas.1516151112.
16. Tchernov E., Valla F. Two new dogs, and other Natufian dogs, from the Southern Levant. *J. Archaeol. Sci.* 1997; 24: 65–95. DOI:10.1006/jasc.1995.0096.
17. Gray M., Sutter N., Ostrander E., Wayne R. The IGF1 small dog haplotype is derived from Middle Eastern grey wolves. *BMC Biol.* 2010; 8: 16. DOI:10.1186/1741-7007-8-16.
18. Olsen S.J., Olsen J.W. The Chinese Wolf, Ancestor of New World Dogs. *Science*. 1977; 197(4303): 533–535. DOI:10.1126/science.197.4303.533.

First Dogs: When and Where?

V.Ya.Sergin

Institute of Archeology, RAS (Moscow, Russia)

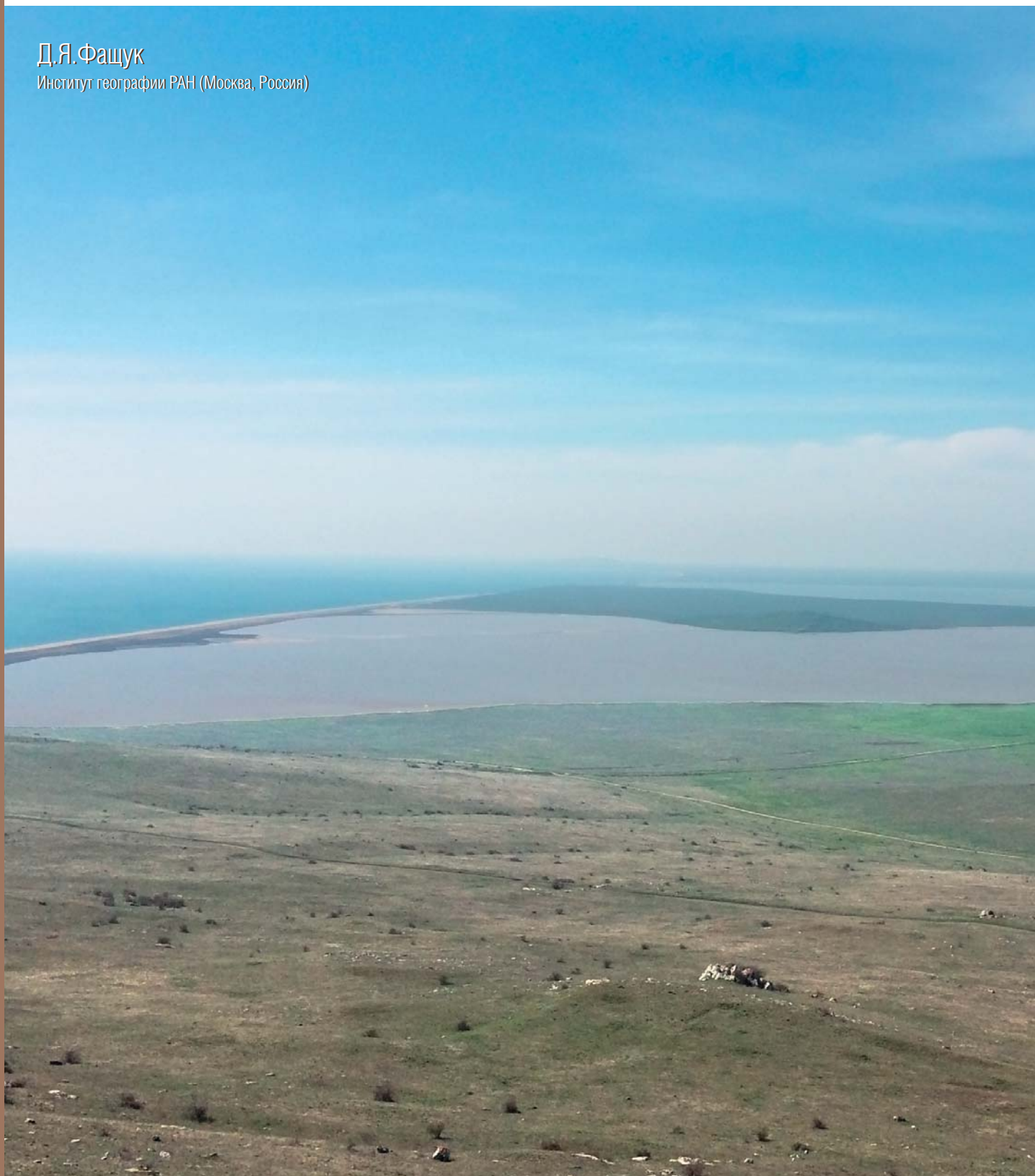
In recent decades, the appearance of the first dogs is attributed to different periods of the Upper Paleolithic (about 40–10 thousand years ago). The foundations of the traditional dating of this event are the most convincing: according to uncalibrated ¹⁴C definitions wolf domestication in Eurasia occurred about 13 thousand years ago. It turns out that this process really was not monocentric and most likely originated both in Western Europe and the Middle East. Although another domestication center could be located somewhere on the eastern edge of Asia.

Keywords: Paleolithic, Eurasia, domestication of wolf, domestication center, dogs.

Черноморская кефаль: как возродить былую славу?

Д.Я.Фащук

Институт географии РАН (Москва, Россия)





В статье рассказывается об истории промысла кефали в Северном Причерноморье. Описан морской прибрежный лов дикой рыбы стационарными орудиями — подъемными заводами, а также добыча кефали, выращенной на акваториях кефалево-выростных хозяйств черноморских лиманов в процессе пастбищного кефалеводства. Представлены результаты акклиматизации в Азово-Черноморском бассейне дальневосточной кефали — пиленгаса, показана необходимость восстановления культуры лиманного кефалеводства на базе лагунных водоемов крымского, азовского и северокавказского побережий России.

Ключевые слова: Черное море, Азовское море, рыболовство, кефали-аборигены, лагунные кефалевые хозяйства, пиленгас, акклиматизация, культура кефалеводства.



Дмитрий Яковлевич Фашчук, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН. Занимается проблемами географо-экологического моделирования морских экосистем.
e-mail: fashchuk@mail.ru

Кефали (Mugilidae) — семейство морских лучеперых рыб. Ареал их распространения в Мировом океане настолько широк, что более чем 280 известных науке видов и подвидов кефалей представляют подлинно интернациональную группу рыб. Кефалью восхищаются и восхищались на берегах Нила и в дельте Ганга, на побережье Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америки, Африки, Австралии, на островах Индийского и Тихого океанов. Древние греки и римляне высоко ценили вкусовые качества кефали, они даже восхваляли ее в произведениях литературы и увековечивали в скульптурных изображениях.

В XV в. слава кефали достигла Центральной Европы. Описания этой рыбы встречаются в научных трактатах Георга Агрикулы (1494–1555) — известного немецкого специалиста в области горно-металлургического производства, а также, как оказалось, и в области чревоугодия. Нежность и неповторимый аромат блюд из кефали произвел на ученого такое впечатление, что, потеряв голову и на время забыв о металлургии, он, как влюбленный юноша, взялся за перо. Его эмоции сохранились в статьях изданной в Цюрихе большой пятитомной «Истории животных» гениального швейцарского профессора-энциклопедиста Конрада Геснера (1516–1565), которого современные исследователи сравнивают с Леонардо да Винчи и называют «забытым Леонардо из Швейцарии» [1].

Не осталась без внимания кефаль и у отечественных гурманов. И если песня композитора Н. Богословского на слова киевлянина

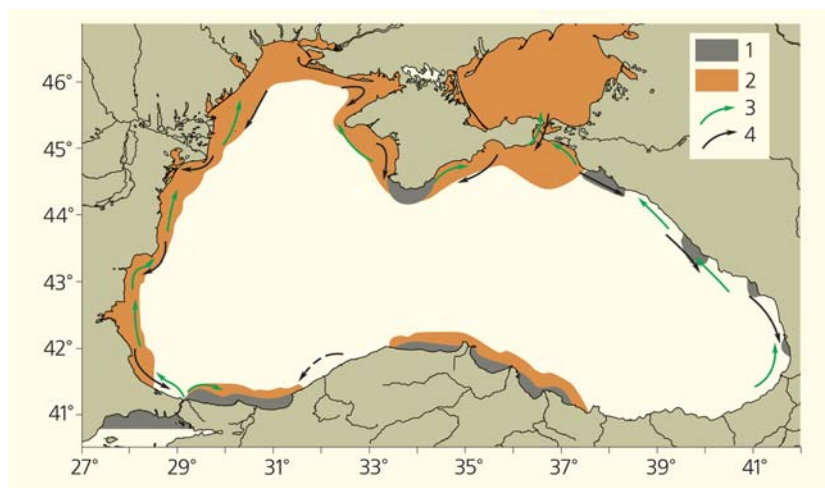


Схема жизненного цикла черноморских кефалей: 1 — зимовка, 2 — нагул, 3, 4 — пути миграций.

М.Агатова «Шаланды, полные кефали», исполненная М.Бернесом в кинофильме «Два бойца», стала шедевром песенного фольклора, то одесская гастрономическая притча о кефали может служить примером незабываемого рецепта для любителей рыбных блюд. Суть притчи проста. По одесскому привозу идет мужик с огромным лобаном (вид крупной черноморской кефали) на плече. У встречного грека он спрашивает: «Где можно купить сковороду?» На вопрос «Зачем тебе сковорода?» мужик отвечает, что хочет пожарить лобана. Грек падает в обморок. Обескураженный обладатель лобана задает такой же вопрос другому греку — то же самое! Присутствовавший при этой сцене одессит разясняет незадачливому повару: «Кто же лобана жарит?! Ты его отвари пару минут с солью и перчиком в крутом кипятке, а потом — на хлебушек, вместо масла». После этих слов оба грека мгновенно приходят в себя и с воплем «А лимончик?!» начинают наперебой доказывать окружающим, что

«кефаль без лимона — это жизнь без радости»!

Но вернемся к теме нашей статьи. Как вы уже догадались, Черное море, так же как и упомянутые районы Мирового океана, не осталось без внимания семейства Mugilidae. Этому во многом способствовало уникальное положение водоема сразу в двух климатических поясах — умеренном (северная часть) и субтропическом (южная). Значительную роль в распространении кефалей в Азово-Черноморском бассейне сыграла также его связь с Мраморным и Средиземным морями, богатейшая кормовая база, формируемая обильным речным стоком,

а также разнообразные, но исключительно благоприятные для морских обитателей климатические (тепловой режим) и физико-географические (наличие многочисленных защищенных от ветра бухт, лагун, относительно мелководных заливов и лиманов) условия. Основные промысловые виды кефалей в Черном море — это лобан (*Mugil cephalus*), сингиль (*Liza aurata*), остронос (*L. saliens*) и вселенный в 1970-х годах с Дальнего Востока пиленгас (*Mugil soiuy*). Все они обитают в прибрежных водах практически по всему морю и значительную часть года мигрируют вдоль берега.

Морской промысел

В 1863–1864 гг. инспектор сельского хозяйства России Николай Яковлевич Данилевский (1822–1885) специально посетил побережье Азовского моря, Южный берег Крыма и Анатолию, чтобы оценить состояние рыболовства у казаков Кубанского, Дон-



Промысловые кефали Черного моря: лобан (а), сингиль (б), остронос (в), пиленгас (г).

ского и Черноморского войск и населения Северного и Южного Причерноморья. В отчете под названием «Черноморское рыболовство» он писал, что вдоль южного побережья Крыма и на северо-западном шельфе Черного моря в конце лета и осенью (август—октябрь) кефаль ловили с помощью подъемных заводов — стационарных устройств из сетей на кольях, которые устанавливались на пути миграции рыбы в защищенных от ветра бухтах. Общий вылов кефали таким способом составлял 3–4 млн штук в год [2]. Например, в 1860-х годах в прибрежных водах от Каркинитского залива (Западный Крым) до Керчи стояло девять таких заводов, а к концу века их было уже 26.

В конце XIX в. севастопольские военные моряки часто фиксировали появление в открытом море огромных мигрирующих косяков лобана: «Вдруг на поверхности воды появилась большая волна, которая своим неправильным движением и попеременным появлением и исчезновением привлекала внимание моряков; ход миноноски был замедлен, и вскоре она очутилась в громадной стае лобанов, которых было миллионы. Лобаны плыли тесными клубами, будто бы играя, и, по мнению моряков, вероятно оплодотворялись; при этом на миноноску рыба обращала очень мало внимания и иногда даже ударялась о борта...» [3].

Но в открытом море в то время кефаль не ловили — не было специальных орудий и скоростных судов. Промышленная морская добыча этой рыбы началась в нашей стране только после Великой Отечественной войны.

В начале XX в. морской биолог, будущий основатель кафедры гидробиологии Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, академик (с 1931 г.) Сергей Алексеевич Зернов (1871–1945) по распоряжению Таврического земства повторил оценку состояния рыболовства в прибрежных черноморских водах России, выполненную ранее Данилевским [4]. В своих отчетах Зернов приводил оригинальные факты. Например, с ноября по январь, когда мелкая кефаль заполняет бухты Севастополя, «она особенно любит прятаться под широкие днища броненосцев, что является поводом к непрерывной борьбе между рыбаками и морским ведомством». В Босфоре кефаль ловится с сентября по март, а весной она идет в Черное море. Кроме того, турки, оказывается, ловят пять видов кефали: это «кефалос» (лобан), «платирина», «ксоил» (молодой лобан), «касторос» (сингиль) и «илари» (остронос).

Обычная длина сингиля составляет 12–54 см. Лобан может достигать длины 75 см и веса 7 кг. Известны случаи, когда выпрыгивавшие из воды лобаны наносили рыбинспекторам травмы, несовместимые с жизнью. Среди и лобанов, и сингилей встречаются особи 20-летнего возраста. По-

ловозрелость наступает в 3–4 года. Нерестятся они только в Черном море (в прибрежной зоне) с мая по август. Плодовитость сингиля колеблется от 0.8 млн до 3 млн, а лобана — от 1 млн до 12 млн икринок. Икра пелагическая, разносится течениями на 50–100 миль от берега.

В июне—июле молодь кефалей подходит к берегу, заходит в лиманы и устья рек для нагула. Основные места нагула — Каркинитский залив и Азовское море. Зимует рыба в основном в крымских бухтах на глубинах 5–25 м (сингиль), а также в районе Новороссийска, Геленджика, Сочи и Адлера (сингиль, лобан). Однако в последние годы традиционные места зимовки у Новороссийска и Геленджика потеряли свое значение. Весенняя (трофическая) миграция сингиля для нагула имеет пик во второй-третьей декаде мая, а осенняя (зимовальная) — в первой декаде октября. У лобана максимальная интенсивность нагульных весенних миграций зарегистрирована в третью декаду апреля, а зимовальных — в третью декаду сентября [5].

В начале 1950-х годов до 70% добытой СССР в море кефали составляла ходовая рыба, выловленная в период ее осенних и весенних миграций. Остальная часть морских уловов приходилась на зимующую и нагульную рыбу. Морской промысел подъемными заводами был малоэффективным, мимо проходило в 60 раз больше рыбы, чем добывалось [6]. В 1946 г. для морского промысла кефали стали применять обкидные кошельковые и кольцевые неводы [7]. В результате ежегодная морская добыча этого ценного вида рыбы в СССР возросла в пять раз — с 0.2 тыс. до 1 тыс. т. Тем не менее кошельковыми неводами успешно облавливались только малоподвижные, зимующие в бухтах от Туапсе до Батуми и от Севастополя до мыса Меганом, скопления кефали кавказского и крымского стада соответственно. На промысле же ходовой рыбы по-прежнему практиковался пассивный лов подъемными заводами.

К концу 1960-х годов в морском промысле кефали возникли серьезные проблемы: объемы добычи существенно сократились. Если в довоенный период ловили 2–4 тыс. т рыбы в год, то теперь не более 0.2–0.4 тыс. т. Исследователи полагают, что, наряду с ухудшением экологической обстановки в море, не последнюю роль в этом сыграли естественная цикличность численности популяции кефалей и межгодовая изменчивость кормовой базы.

В конце 1980-х кефаль потеряла промысловое значение. В 1995 г. ее запасы составляли всего 100 т. Морская добыча в нашей стране была прекращена. Однако с конца 1990-х, после того как в результате экономического кризиса остановилось промышленное производство на черноморском побережье, экологическая обстановка в море улучшилась и популяция кефалевых начала восстанавли-



На черноморском рыбном рынке. В начале XXI в. прилавки вновь заполнились традиционными в 1950–1960-х годах видами кефали.

Здесь и далее фото автора

ливаться. К 2005 г. ее общая биомасса достигла 4.1 тыс. т. В 2002 г. суммарный ежегодный вылов России у побережья Кавказа составил 150 т [8].

Промысел кефали в лиманах Северного Причерноморья

Несмотря на внедрение и постоянное усовершенствование техники активного кошелькового морского лова, в начале 1950-х годов, как и в довоенный период, больше половины добытой в Черном море кефали составляла рыба, выращиваемая в спе-

циальных лиманных хозяйствах Одесской, Херсонской областей и Краснодарского края. Например, в 1951 г. в лиманах было выловлено около 0.9 тыс. т кефали [9]. В 1955 г. в лагунах Одесской обл. добыли 538 т, а в Краснодарском крае — 550 т кефали, что составило 60% от ее общего вылова в Черном море [6].

Нагул в лиманах и лагунах для азово-черноморских кефалей — биологическая необходимость. Только в этом случае возможен интенсивный рост рыбы и накопление жира. Лиманное кефалеводство в Черноморском бассейне имеет многовековую историю. Для выращивания кефали с давних времен использовались воды бессарабских и одес-

ских лиманов в северо-западной части моря от Дуная до Тендровской косы, лиманы п-ова Тамань между Керченским проливом и Анапой, а также в Крыму (оз.Тобечикское) и на Кавказском побережье. В разные годы XIX в. на больших и малых лагунных водоемах Северного Причерноморья функционировало более 10 кефалевых хозяйств, а в первой половине XX в. их общая площадь уже превышала 200 тыс. га [10].

Одно из таких хозяйств со времен турецкого владычества существовало на Будацком (Шаболатском) лимане. После подписания в 1826 г. Ак-



Лиманы и озера Черного и Азовского морей: 1 — Днепровский и Бугский, 2 — Утлюкский, 3 — Днестровский, 4 — Сасык, 5 — Молочный, 6 — Тилигульский, 7 — Шаганы, 8 — Алибей, 9 — Сасык-Сиваш, 10 — Хаджибейский, 11 — Березанский, 12 — Куяльницкий, 13 — Донузлав, 14 — Айгульское, 15 — Будацкий (Шаболатский), 16 — Акташское, 17 — Красное, 18 — Узунларское, 19 — Збурьевский Кут, 20 — Кирлеуцкое, 21 — Тобечикское, 22 — Бурнас, 23 — Киятское, 24 — Старое, 25 — Кояшское, 26 — Аджалыкский (Григорьевский), 27 — Сухой, 28 — Сиваш, 29 — Бейсугский, 30 — Кизилташский, 31 — Ахтанизовский, 32 — Старотитаровский, 33 — Бугазский, 34 — Цокур.

керманской конвенции район Дунайско-Днестровского междуречья (Бессарабия) перешел во владение России. С этого времени в литературе появляются первые сведения об эксплуатации рыбных ресурсов Будаковского лимана.

На протяжении столетий каждую весну перезимовывавшие в море годовики кефали (в основном сингиля) массой от 0.5 до 3.5 г по протокам, прорвам и ерикам (искусственным каналам) заходили в быстро прогревающиеся, богатые кормом лиманы. К осени они нагуливались здесь до товарного веса в 110–140 г. Во времена Османской империи между Будаковским озером и соседним Днестровским лиманом существовало три ерика. Осенью выходящую через них в море кефаль ловили тырами (гардами) — тростниковыми перегородками с воротами посередине. В ерик устанавливали три ряда таких перегородок, последняя заканчивалась ловушкой, из которой кефаль вычерпывали сачком. Промысел велся с начала сентября до первых чисел ноября.

В первые годы после присоединения Бессарабии к России между Будаковским и Днестровским лиманами было прокопано до 200 ериков в 1.5–2 сажени шириной (1 сажень = 2.1336 м), в сажень глубиной и в 0.5–1 версту (1 верста = 1.0668 км) длиной [2]. Но значительная часть кефали в каналы не попадала, так как ее вылавливали в лимане дрибницами (густыми сетками длиной до 40 саженей и в сажень шириной), перегораживая ими заход в ерик. Владельцы ериков пожаловались на это генерал-губернатору графу М.С.Воронцову, после чего в 1834 г. был издан указ, который предписывал «единожды и навсегда запретить частным лицам и даже откупщикам в течение лета и осени ловить в Шаболатском озере кефаль неводами, сетями и другими средствами». В результате успешный лов кефали в лимане возобновился, ежегодно в каналах стали вылавливать 500–700 тыс. штук чулары — двухлесток кефалей, общим весом до 105 т [2]. Однако в 1868 г., после обнародования постановления министра государственных имуществ «О свободном рыболовстве на берегу Черного моря», местные жители вновь стали ловить рыбу в Днестровском лимане в любое время и вылавливали преждевременно, до захода в каналы, мелкую кефаль «тысячами на пуд». Промыслы в ериках опять пришли в упадок. В 1873 г., после очередной жалобы рыбопромышленников, пристав прибрежного поселения Шабо получил предписание бессарабского губернатора, запрещающее промысел кефали в лимане с 1 апреля по 25 сентября и вновь предписывающее лов только на каналах.

К 1903 г. количество ериков в лимане увеличилось до 230, в каждом из них осенью вылавливали до 60 тыс. штук кефали, а общий вылов в тот год составил 10 млн штук — примерно 1.3–1.4 тыс. т [11].

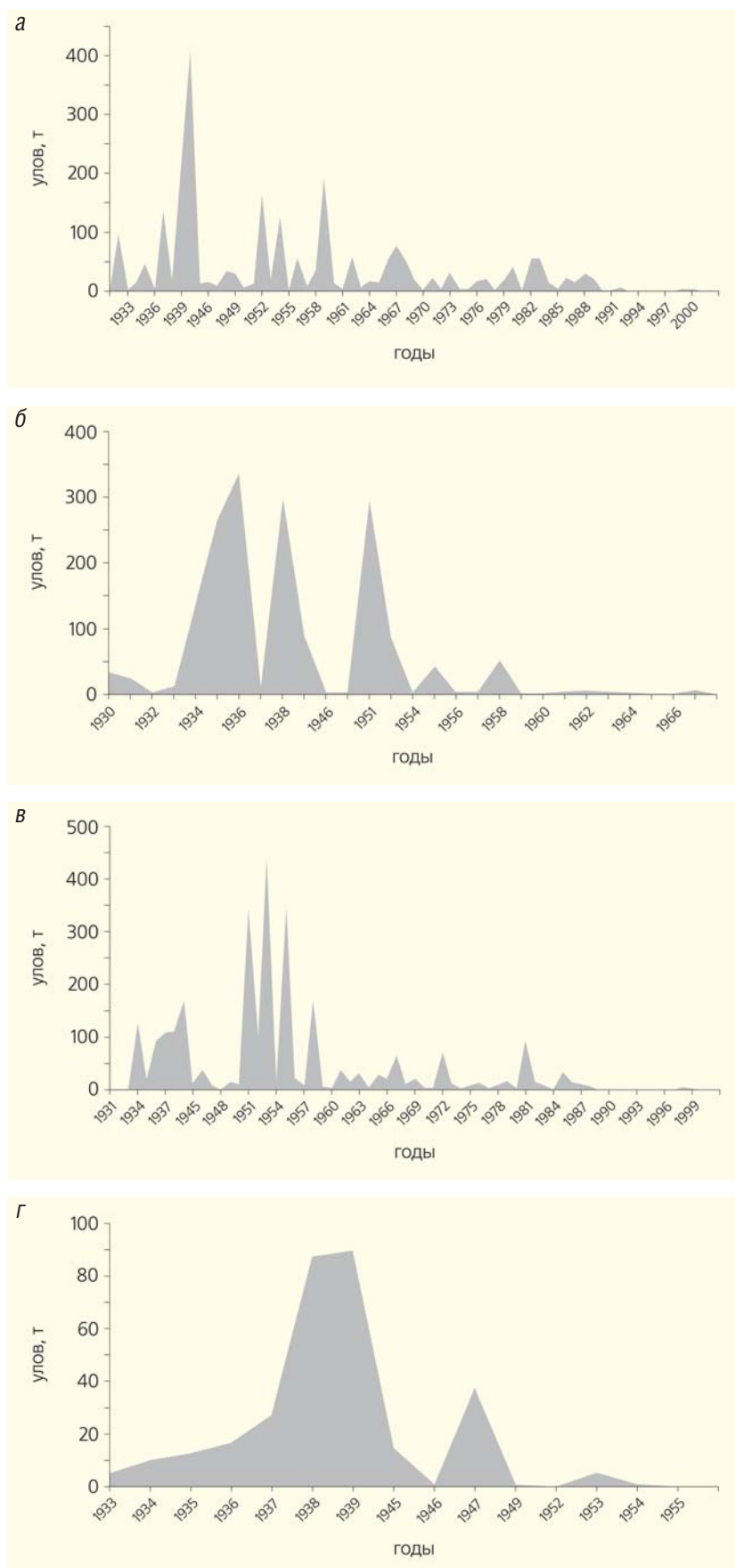
С 1909 по 1917 г. в северной части Шаболатского лимана действовало до 150 ериков, в которых вылавливали в среднем 250 т рыбы в год, 80 кг/га. В мелких заливах добывали до 2–4 т крупной (160–170 г) кефали. В отдельные дореволюционные годы рыбопродуктивность здесь достигала 130–270 кг/га (!). При этом после теплых зим в уловах преобладал лобан, а после холодных — сингиль.

В феврале 1917 г. при строительстве железной дороги все ерики Шаболатского лимана были засыпаны, и лишь через один возвели мост. Тем не менее, кефалеводство в лимане успешно продолжилось [12]. С 1918 по 1940 г. продуктивность лимана колебалась от 0.5 до 139 кг/га, составляя в среднем 30 кг/га.

Один из самых крупных и глубоководных лиманов северо-западного шельфа — Тилигульский. До 1934 г. он был изолирован от моря шестикилометровой пересыпью и имел соленость 35 ‰. После прорыва пересыпи лиман соединился с морем и превратился в высокопродуктивный рыбопромысловый водоем. В 1936 г. уловы кефали здесь достигали 8 т за одно притонение невода. Другой крупный лиман под Одессой — Григорьевский (Аджалыкский), с 1900 по 1939 г. он зарыблялся молодью кефали из открытого моря 16 раз. В 1911 г. улов рыбы после пастбищного выращивания достиг здесь рекордного значения — 300 т (!).

Во время войны запускные и обловные каналы лиманов северо-западной части Черного моря были уничтожены. Песчаные пересыпи — косы самых больших лиманов — оказались полуразрушенными. Самые высокопродуктивные мелководные участки лиманов Шаболатского, Сасыка и Тилигульского были заболочены или засыпаны песком. В результате естественное зарыбление лиманов (весенний заход с моря «шкребетух» — личинок кефали) резко сократилось. Если в 1939 г. в Шаболатский лиман на 1 га акватории заходило 1400 мальков, то в послевоенный период их количество составляло всего 47–108 штук [9].

В 1965 г. на базе разрозненных кефалевых хозяйств на Шаболатском и Тузовских лиманах (озерах Шаганы, Алибей, Бурнас и др.) было создано Черноморское производственное объединение рыбной промышленности (ЧПОРП) «Антарктика». Вскоре на его базе появился ЭКЗ — Экспериментальный кефалевый завод. Однако в 1960-е годы из-за плачевного состояния популяции черноморских кефалей не хватало рыбопосадочного материала. Снизилась объемы выращивания чулары в лиманах. Кефалевые хозяйства, в том числе и ЭКЗ, начали ощущать значительные трудности с зарыблением акваторий. По данным статистики, с 1929 г. ежегодный вылов рыбы, например, в Григорьевском лимане был небольшим, его максимум в 1955 г. составил всего 187 т



Динамика уловов кефали в лиманах Северного Причерноморья (а — Шаболатский, б — Сасык, в — Тузловский, г — Сухой [13]).

при средней рыбопродуктивности 23.8 кг/га. В 1964–1965 гг. здесь начали строить судоходный канал, и рыбохозяйственное использование лимана было прекращено [10]. В Шаболатском лимане уловы кефали продолжали падать. Если в 1930–1949 гг. общий улов в среднем достигал 951.4 т, а средняя рыбопродуктивность по кефали — 34 кг/га, то в 1974–1983 гг. они составили 179.2 т и 7.2 кг/га соответственно. В 1993 г. из-за отсутствия средств ЧПОРП «Антарктика» отказалось от ЭКЗ — кефалеводство в Шаболатском лимане было прекращено.

В лимане Сасык в довоенный период уловы кефали колебались от 2.3 до 336.8 т в год, составляя в среднем 120.5 т. Его рыбопродуктивность не превышала 15.9 кг/га и в среднем была равна 5.7 кг/га. С 1930 по 1939 г. средний вылов рыбы в Сасыке составил 242 т, в том числе кефали — 85 т. В последующие годы доля кефали в уловах снизилась в 3–4 раза. Эксплуатация лимана в режиме кефалевого хозяйства продолжалась до начала 1970-х годов. Последний улов кефали (4.8 т) зарегистрирован в 1978 г. В дальнейшем лиман утратил связь с морем. В рамках проекта строительства оросительной системы Дунай—Днепр планировалось превратить лиман Сасык в пресноводное водохранилище и использовать воду для орошения, но из-за высокой минерализации для этих целей она оказалась непригодной.

В Тузловской группе лиманов имелось три запускных канала, и они тоже были разрушены во время войны. В результате лиманы обмелели и осолонились. Но в 1947–1949 гг. здесь бушевали сильнейшие штормы, которые выработали в пересыпи протоки. Летом 1950 г. соленость в Тузловских лиманах снизилась с 57 до 7.1–22 ‰, и началось зарыбление водоемов молодью морских рыб. В августе на морской

пересыпи был восстановлен единственный канал, и в осеннюю пору выловили 100 т кефали. С весны 1951 г. до 1990 г. на Тузовской косе постоянно действовало от двух до пяти обловно-запускных каналов. Тем не менее зарыбление все равно было недостаточным, богатая кормовая база лагун использовалась слабо. Даже при максимальном улове (170.5 т в 1958 г.) на 1 га угодий лимана приходилось всего 100–150 рыб, а по оценкам специалистов, кормовая база лимана и сегодня способна обеспечить в 10–15 раз более высокой продукцией [13].

Начиная с 1960-х годов и в последующие 30 лет уловы кефали в Тузовских лиманах не превышали 100 т, а их средняя рыбопродуктивность составляла 0.95 кг/га. В 1990–1991 гг. добыча рыбы здесь упала до нескольких десятков килограммов, а с 1992 по 1997 г. водоемы практически не зарыблялись.

В начале XX в. одесский Сухой лиман отделялся от моря песчаной косой шириной 47–170 м и длиной 1.25 км. В пересыпи периодически образовывались промоины, что способствовало водообмену и обеспечивало зарыбление водоема. В 1935 г. в косе впервые оборудовали кустарный обловно-запускной канал. С тех пор продуктивность лимана в лучшие годы составляла 146.7–150 кг/га. Предвоенный период (1933–1939) характеризовался довольно высокой средней продуктивностью — 59.4 кг/га. После войны (1945–1949) этот показатель в среднем составлял 18.8 кг/га. С 1952 г. до окончания эксплуатации лиман практически не зарыблялся, и его средняя рыбопродуктивность не превышала 2.84 кг/га. Кефалеводство в Сухом лимане было прекращено в 1956 г. в связи со строительством Ильичевского морского порта.

Кроме бессарабских и одесских лиманов рыбный промысел в 1920–1950 гг. активизировался в мелководных озерах Егорлыцкого и Тендровского заливов (Херсонская обл.). Самыми продуктивными из них оказались озера, расположенные на Кинбурнской косе на берегу Егорлыцкого залива. Всего здесь насчитывалось 18 озер общей площадью 56 га со средней глубиной 0.2–1 м. Кефаль здесь выращивали еще с дореволюционного времени, а в 1923 г. эти водоемы были закреплены за Украинской научной рыбопромысловой станцией для ведения опытного кефалевого хозяйства. Средняя рыбопродуктивность озер редко опускалась ниже 100–400 кг/га, а в самом большом из них она достигала 1000 кг/га (!). В 1947 г.

в озерах выловили рекордное количество кефали — 103.2 т (более 2 т/га). Последний раз озера зарыблялись в 1960–1961 г. В настоящее время для нужд кефалеводства они не используются [10].

Добыча кефали в лиманах Тамани

До начала XIX в. половина стока р.Кубани направлялась через Старую Кубань в причерноморский Кизилташский лиман, а оттуда в Черное море. В 1819 г. заселившие этот район Краснодарского края черноморские казаки прорыли Казачий Ерик, соединивший Кубань с азовскими лиманами Старотитаровским и Ахтанизовским. В результате эти акватории были опреснены, а река изменила направление и стала впадать не в Черное, а в Азовское море.

После прекращения стока Кубани в Черное море лиманы Кизилташский, Бугазский и Цокур полностью высохли. В 1950 г. советское правительство приняло решение построить на их месте искусственную лагуну общей площадью 24.4 тыс. га и создать кефальное товарное хозяйство.

С 12 по 27 апреля 1955 г. (за 12 сут) лиманы пока еще недостроенного хозяйства были заполнены морской водой через искусственное морское гирло, прорытое на месте бывшего естественного Бугазского гирла. Однако после сильного шторма оно было размыто. Для спасения строительства от затопления морское гирло засыпали, а магистральный канал, по которому с января 1955 г. в лиманы (лагуну) подавалась кубанская пресная вода, перекрыли земляной перемычкой. В результате прекращения водообмена соленость в Кизилташском кефалевом хозяйстве увеличилась до 46 ‰ и на лето оно вышло из эксплуатации. Только 27 сентября открыли временное Бугазское гирло,



Лов кефали котцами — ловушками-лабиринтами из тростника, устанавливаемыми на пути движения рыбы [15].

которое «работало» при ветрах северных румбов, а при южных и юго-западных интенсивно заносилось песком [14].

Облов Кизилташских лиманов ставными неводами и рогожами начался 31 августа, еще до открытия временного гирла, но уловы не превышали 30–40 кг за сутки. После открытия морского гирла лов в лиманах вели семь рыболовецких колхозов и две базы государственного лова. Рыбу, выходящую в море через гирло, добывали караванами — сетями с ячеями в 6 и 18 мм. Ходовые пути к гирлу в Бугазском лимане были перекрыты ставными неводами, в Кизилташском лимане, кроме неводов, были установлены селёточные и дифонные сети, а лиман Цокур облавливался котцами и гардами, установленными в его устье.

С 27 сентября по 20 декабря 1955 г. в лиманах Кизилташского кефалевого хозяйства было добыто 694 т рыбы, в том числе 497 т сингиля, 57 т лобана и 140 т других видов. При этом 93.3% вылова пришлось на Бугазский лиман [14].

Несмотря на успехи лиманного рыболовства в начале 1950-х годов, к 1960 г. большинство лиманов потеряли свое рыбохозяйственное значение вследствие плохого технического состояния и применения пассивных методов зарыбления. Деятельность Кизилташского кефалевого хозяйства была приостановлена как раз по последней причине.

С 1978 г. лиманы стали использоваться не для рыбопромысловых целей, а в качестве нагульно-воспроизводственного хозяйства для пополнения стада кефалей. Сегодня Кизилташское хозяйство — единственное предприятие на юге России по нагулу

и воспроизводству азово-черноморских кефалей. Весной в лиманы заходит 300–400 тыс. штук производителей. На зимовку рыба отправляется в магистральный канал, берущий начало в Кубани и впадающий в Кизилташский лиман, а часть пиленгаса остается в лимане [16].

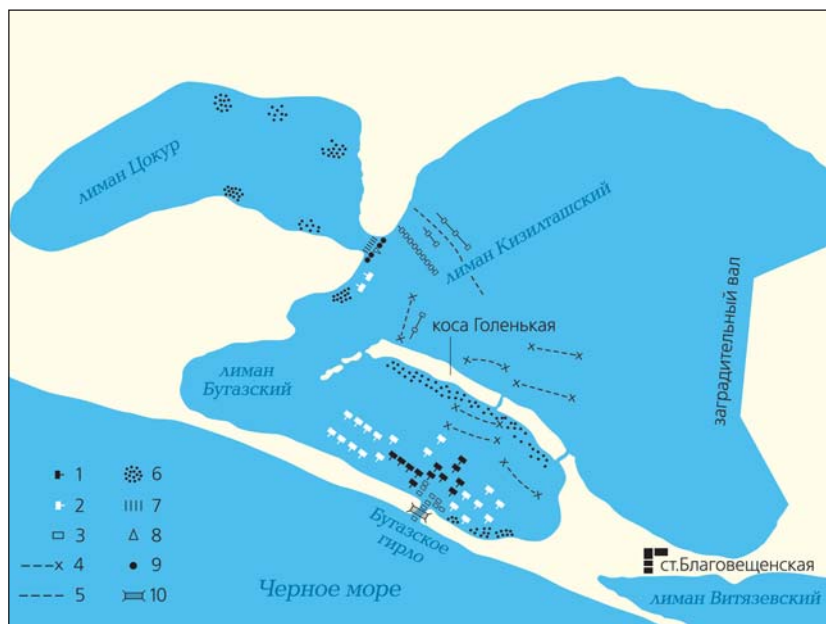
Акклиматизация пиленгаса в Черном море

В 1958 г. лагуны Одесской обл. еще дали 350 т, Херсонской обл. — 59 т, а Краснодарского края — 200 т кефали, что составило в сумме 70% ее общего (850 т) вылова в Черном море, но это уже было в два раза меньше, чем в 1955 г. К этому времени сократился вылов кефали и в открытом Черном море. В 1959 г. добыча в СССР лиманной и морской кефали составила всего 200 т [6].

Катастрофическое сокращение популяций аборигенных видов кефали в открытой части Черного моря и практическое прекращение ее добычи в лиманных хозяйствах заставило отечественных рыболовов искать пути восполнения утраченного промыслового потенциала этого ценного вида рыбы. В конце 1960-х годов объект, способный спасти черноморский кефалевый промысел, был найден в морях Дальнего Востока.

Кефаль пиленгас — промысловый вид, распространенный от российских вод Амурского залива до субтропических вод Южного Китая. Исследования особенностей биологии, физиологии, экологии и поведения пиленгаса, проведенные в СССР в 1960–1970 гг., показали, что он может обитать как в пресных, так и в соленых водах, способен нагуливаться в сильно прогреваемых и быстро остывающих мелководных заливах и лагунах, зимовать в «ямах» глубиной 6–10 м в устьях и нижнем течении замерзающих рек. Эти и многие другие знания стали основанием для рекомендации пиленгаса в качестве объекта акклиматизации и выращивания в Черном море [17].

В 1971 г. сотрудники Херсонского отделения Украинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства начали первые опыты такого выращивания. В мае в два экспериментальных солоноватоводных пруда северного Присивашья было вселено 170 сеголетков пиленгаса, отловленных в лиманах и устьях рек Дальнего Востока [18]. Результаты эксперимента подтвердили правильность рекоменда-



Лиманы и орудия лова Кизилташского кефального нагульного хозяйства [14]: 1, 2 — ставные неводы, 3 — каравы, 4 — дифоны, 5 — сельдевые сети, 6 — места облова волокушами, 7 — гарды, 8 — вентери, 9 — котцы, 10 — мост через гирло.

ций: к августу рыба показала широкую экологическую пластичность, высокие темпы роста и отличные вкусовые качества мяса.

В 1972–1980 гг. сотрудники Одесского отделения Азово-Черноморского НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии занялись акклиматизацией пиленгаса в лиманах северо-западного Причерноморья [19]. В октябре 1972 г. в Одессу самолетом была доставлена первая партия сеголеток пиленгаса (1400 экз.), выловленных в дельте р. Суходол, впадающей в Уссурийский залив. В последующие годы перевезли еще 13 партий акклиматизанта. Общая численность молоди составила 46 тыс. штук, длина рыбин изменялась от 2.8 до 10.5 см, масса — от 0.3 до 14.1 г. Из всех рыб 9.4 тыс. мальков заселили в северо-западную часть моря, 22.3 тыс. — в Шаболатский лиман, 1.3 тыс. — в Тилигульский лиман, а 12.7 тыс. оставили в бассейнах и садках экспериментального кефалевого завода для выращивания маточного стада.

В 1975 г. в Шаболатском лимане были впервые пойманы две взрослые самки пиленгаса, а спустя несколько лет, в 1979–1982 гг., стали эпизодически появляться сотни сеголеток и двухлеток нововселенца. По сравнению с кефальями-аборигенами зимостойкость пиленгаса оказалась значительно выше. При отрицательной температуре воды (даже при вмерзании в лед) выживаемость его сеголетков оказалась 20%, двухлеток — 90%, а старших возрастов — 100%. Местные кефали в таких условиях погибали через 2–3 недели.

В 1987–1989 гг. после осолонения лимана (соленость увеличилась с 5–14 до 15–18 ‰) из-за ухудшения его связи с морем в Шаболатском лимане был впервые зафиксирован массовый нерест пиленгаса [10]. К 1993 г. самовоспроизводящаяся популяция расселилась по всей акватории Черного и Азовского морей. Промышленная добыча пиленгаса в нашей стране началась с 1995 г.

Пиленгас в Азовском море

В сентябре 1978 г. в Молочный лиман Азовского моря выпустили 2160 сеголетков пиленгаса, отловленных в Амурском заливе и доставленных самолетом в Бердянск [20]. В последующие пять лет привезли еще 7 тыс. сеголетков, годовиков, а также 50 пар производителей пиленгаса.

Первые сведения о поимке пиленгаса в водоемах Приазовья были получены в 1981 г., а 1 июня 1989 г. в Молочном лимане впервые поймали молодь



Дальневосточный пиленгас до вселения в Азовское море.

на стадии закладки чешуи, что позволило определить ее как продукт естественного нереста, произошедшего в первой половине мая. В последующие годы нерест пиленгаса в естественных условиях Азовского моря наблюдался как в Молочном лимане, так и в водоемах восточного Сиваша.

Пиленгас живет до 6 лет, половой зрелости достигает на 2–3-м году жизни. Через 30 лет после вселения вес взрослых особей увеличился до 3–5 кг, а отдельные экземпляры нововселенца, раздобревшего «на южных кормах», достигают 8–10 кг. На рынках приморских городов появился давно забытый черноморскими старожилками деликатес — галаган, вяленая икра кефали.

По способу питания пиленгас — детритофаг. При понижении температуры воды до 6–8°C прекращает питаться, собирается в косяки и мигрирует на зимовку в ямы степных рек северо-западного Приазовья, в сбросные и оросительные каналы.

На протяжении жизненного цикла вселенец переносит температуры от –0.5°C до +32°C и может выдержать снижение концентрации кислорода до



Дальневосточный пиленгас через 30 лет после вселения в Азовское море. Вес каждого из этих экземпляров превышает 5 кг.



Галаган — засоленная под прессом в ястыке (оболочке) и провяленная на ветру икра кефали. В ресторанах дореволюционной России это был один из самых дорогих деликатесов.

1.4 мл/л. Погибает рыба лишь при падении содержания кислорода в воде до 0.6 мл/л [21]. Взрослые особи зимуют в прибрежных зонах по всему морю, но предпочитают районы, близкие к нерестовым акваториям — Молочному лиману и восточному Сивашу, Обиточному заливу, северным частям кос

вать в наших южных морях, а Кизилташское нагульно-воспроизводственное хозяйство недолго останется единственным районом возрождения популяции деликатесной рыбы, столь любимой жителями и гостями побережий Черного и Азовского морей.■

Работа выполнена в рамках Государственного заказа №0148-2019-0007 «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».

Литература / References

1. *Сергеев М.Л.* Конрад Гесснер (1516–1565) как библиограф. Acta linguistica Petropolitana. Труды Института лингвистических исследований. 2008; 4(1): 527–537. [Sergeev M.L. Conrad Gessner (1516–1565) as bibliographer. Acta Linguistica Petropolitana. 2008; 4(1): 527–537. (In Russ.).]
2. *Данилевский Н.Я.* Исследование о состоянии рыболовства в России. 8. Описание рыболовства на Черном и Азовском морях. СПб., 1871. [Danilevsky N.Ya. Research on the state of fisheries in Russia. 8. Description of fishing in the Black and Azov Seas. St.Petersburg, 1871. (In Russ.).]
3. *Люксембург В.* Очерк рыболовства у берегов Севастопольского градоначальства. Вестник рыбопромышленности. СПб., 1890; 2: 49–56. [Luxemburg V. An outline of fishing near the shores of Sevastopol City Government. Herald of the fishing industry. St.Petersburg, 1890; 2: 49–56. (In Russ.).]
4. *Зернов С.А.* К вопросу об изучении жизни Черного моря. Записки Императорской академии наук. 1913; 32(1). [Zernov S.A. On question of the study of life of the Black Sea. Zapiski Imperatorskoy akademii nauk. 1913; 32(1). (In Russ.).]
5. Промысловое описание Черного моря. М., 1988. [Fishing description of the Black Sea. Moscow, 1988. (In Russ.).]
6. *Бабаян К.Е.* Резервы увеличения добычи кефали в СССР. Рыбное хозяйство. 1961; 7: 12–14. [Babayany K.E. Reserves of increased production of mullet in the USSR. Fisheries. 1961; 7: 12–14. (In Russ.).]
7. *Камышьян В.Г., Овчаренко В.М.* Лов кефали и ставриды в Черном море кошельковым неводом. Рыбное хозяйство. 1950; 3: 5–16. [Kamyshyan V.G., Ovcharenko V.M. Fyke fishing of mullet and horse mackerel in the Black Sea. Fisheries. 1950; 3: 5–16. (In Russ.).]
8. *Фащук Д.Я.* Черное море: географо-экологический «портрет». М., 2019. [Fashchuk D.Ya. Black Sea: geographic and environmental «portrait». Moscow, 2019. (In Russ.).]
9. *Квинтилианов А.П.* О повышении эффективности нагула кефали в черноморских лиманах. Рыбное хозяйство. 1954; 5: 32–33. [Kvintilianov A.P. On increasing the efficiency of mullet feeding in the Black Sea estuaries. Fisheries. 1954; 5: 32–33. (In Russ.).]
10. *Шекк В.А., Куликова Н.И.* Марикультура рыб и перспективы ее развития в Черноморском бассейне. Киев, 2005. [Shekk P.V., Kulikova N.I. Fish Mariculture and Prospects of its Development in the Black Sea Basin. Kiev, 2005. (In Russ.).]
11. *Семаков Н.М.* Рыболовство в устье Днестровского лимана и Шаболатском озере. Бессарабское сельское хозяйство. 1909; 7: 36–54. [Semakov N.M. Fishing at the mouth of the Dniester Estuary and Shabolatsky Lake. Bessarabian agriculture. 1909; 7: 36–54. (In Russ.).]

Арабатская Стрелка, Бирючий Остров и Федотова, а также к опресненному Бейсугскому лиману на востоке моря.

В середине 1990-х годов запас пиленгаса в Азовском море изменялся от 9.4 до 14.3 тыс. т [22]. В первое десятилетие 2000-х вылов достигал 3.8–10.4 тыс. т [23].

Таким образом, привезенный с Дальнего Востока пиленгас успешно акклиматизировался, создал самовоспроизводящуюся популяцию и не только расселился по Азовскому и Черному морям, но даже вышел в Средиземное море [24]. Очень хочется верить, что пиленгас и дальше будет прекрасно себя чувствовать

12. *Виноградов Н.И., Невинская Е.А.* Состояние и перспективы кефального промысла в северо-западной части Черного моря. Рыбное хозяйство. 1939; 11: 28–29. [Vinogradov N.I., Nevinskaya E.A. Status and prospects of mullet fishing in the northwestern part of the Black Sea. Fisheries. 1939; 11: 28–29. (In Russ.).]
13. *Шекк П.В.* История и современное состояние кефалеводства в Северном Причерноморье. Известия Музейного фонда имени А.А.Браунера. 2004; 1(2): 1–10. [Shekk P.V. History and current state of mullet farming in the Northern Black Sea region. News of the A.A. Brauner Museum Fund. 2004; 1(2): 1–10. (In Russ.).]
14. *Дорошин Г.Я., Суханова Е.Р.* Кизилташское кефальное хозяйство. Рыбное хозяйство. 1956; 8: 62–65. [Doroshin G.Ya., Sukhanova E.R. Kiziltash mullet farm. Fisheries. 1956; 8: 62–65. (In Russ.).]
15. *Данилевский Н.Я.* Рисунки к исследованию рыболовства на Черном и Азовском морях. СПб., 1871. [Danilevsky N.Ya. Drawings for the Study of Fishing in the Black and Azov Seas. Saint-Petersburg, 1871. (In Russ.).]
16. *Никитина Т.А.* Проблемы комплексного использования Кизилташских лиманов. Фундаментальные исследования. 2006; 11: 48–50. [Nikitina T.A. Problems of the integrated use of Kiziltashskiy estuaries. Fundamental research. 2006; 11: 48–50. (In Russ.).]
17. *Казанский Б.Н.* Пиленгас как перспективный объект для акклиматизации и лиманного рыбоводства в южных морях СССР. Перспективы развития рыбного хозяйства в Черном море. Одесса, 1971; 62–63. [Kazanskii B.N. Haarder, as a promising object for acclimatization and liman fishery in the southern seas of the USSR. Prospects for the Fishery Development in the Black Sea. Odessa, 1971; 62–63. (In Russ.).]
18. *Финько В.А., Сверба В.А.* Первый опыт выращивания пиленгаса в солоноватоводных прудах юга Украины. Рыбное хозяйство. 1973; 2: 15–16. [Finko V.A., Sverba V.A. The first experience of growing Far-Eastern Mullet in brackish ponds in the south of Ukraine. Fisheries. 1973; 2: 15–16. (In Russ.).]
19. *Старушенко Д.И.* Холодоустойчивость пиленгаса — акклиматизанта в бассейне Черного моря. Рыбное хозяйство. 1981; 3: 26–27. [Starushenko D.I. Cold tolerance of Far-Eastern Mullet, an acclimatizer in the Black Sea basin. Fisheries. 1981; 3: 26–27. (In Russ.).]
20. *Семенов Л.И., Кудлина Е.А.* Вселение пиленгаса в Молочный лиман Азовского моря. Рыбное хозяйство. 1982; 8: 33–34. [Semenenko L.I., Kudlina E.A. The introduction of Far-Eastern Mullet in the Molochnyi estuary of the Sea of Azov. Fisheries. 1982; 8: 33–34. (In Russ.).]
21. *Семенов Л.И.* Опыт формирования маточного стада дальневосточного пиленгаса в Северном Приазовье. Рыбное хозяйство. 1987; 3: 31–34. [Semenenko L.I. Experience of formation of a Far-Eastern Mullet brood stock in the Northern Region of the Sea of Azov. Fisheries. 1987; 3: 31–34. (In Russ.).]
22. *Яновский Э.Г., Изергин Л.В.* Формирование промысловой популяции пиленгаса. Рыбное хозяйство. 1995; 4: 42–45. [Yanovskii E.G., Izergin L.V. Formation of the commercial population of Haarder. Fisheries. 1995; 4: 42–45. (In Russ.).]
23. *Губанов Е.П., Гетманенко В.А., Изергин Л.В., Солод Р.А.* Целенаправленная интродукция гидробионтов в Азовское море и ее результаты. Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона. Керчь, 2008; 133–139. [Gubanov E.P., Getmanenko V.A., Izergin L.V., Solod R.A. Targeted introduction of aquatic organisms into the Sea of Azov and its results. Current problems of the Azov-Black Sea Region ecology. Kerch, 2008; 133–139. (In Russ.).]
24. *Воловик С.П., Котенев Б.Н., Микодина Е.В.* Пиленгас — новый объект промысла. Рыбное хозяйство. 1998; 5–6: 45–47. [Volovik S.P., Kotenev B.N., Mikodina E.V. Far-Eastern Mullet — a new fishing target. Fisheries. 1998; 5–6: 45–47. (In Russ.).]

Black Sea Mullet: How to Bring Back the Days of Glory?

D.Ya.Fashchuk

Institute of Geography, RAS (Moscow, Russia)

The article considers the history of mullet fishery in the northern Black Sea region. The coastal fishing of wild mullets with stationary gears, such as uncovered pound nets, and fishery of mullets grown on aquatories of rearing farms of the Black Sea limans in the process of pasturable farming are described. The results of acclimatization of Far Eastern mullet, pilengas, in the Azov-Black Sea basin are presented; the need of restoration of the culture of liman mullet farming in the Azov-Black Sea basin based on lagoon water reservoirs of the Crimean, Azov, and North Caucasian coasts of Russia is shown.

Keywords: Black Sea, Azov Sea, fishing, aboriginal mullets, lagoon mullet farms, pilengas, acclimatization, culture of mullet farming.

Развитая кавитация гребных винтов

Г.И.Каневский¹, А.М.Клубничкин¹, К.Е.Сазонов^{1,2}

¹Крыловский государственный научный центр (Санкт-Петербург, Россия)

²Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Санкт-Петербург, Россия)

Кавитация — нарушение сплошности текущей жидкости, возникающее из-за снижения в ней локального давления до величины давления паров, насыщающих эту жидкость. В технических приложениях кавитация крайне актуальна при проектировании гребных винтов и вообще движителей судов и других подобных устройств. Из гидромеханики хорошо известно, что при обтекании любого тела у его поверхности образуется зона разрежения — именно в этой зоне могут развиваться кавитационные явления. В настоящее время в развитии кавитационных явлений на гребных винтах различают две стадии: на первой стадии у лопастей винтов образуются начальные формы кавитации (пузыри, пленки, небольшие каверны), при этом изменения гидродинамических характеристик движителя не происходит. Вторая стадия — развитая кавитация — приводит к снижению гидродинамических характеристик гребного винта. Недавние результаты модельных исследований кавитационных характеристик перспективных ледоколов позволили выявить существенное влияние корпуса модели на процесс возникновения второй стадии кавитации на швартовном и близких к нему режимах движения. Оказалось, что при наличии корпуса запас на возникновение второй стадии кавитации значительно увеличивается по сравнению с запасами, определенными для изолированного движителя. Учет роли корпуса открывает новые возможности для совершенствования проектирования гребных винтов ледоколов, работающих в условиях повышенной гидродинамической нагрузки.

Ключевые слова: кавитация, развитая кавитация, судовые движители, гребные винты, ледоколы.

В бытовых представлениях кавитация связывается с образованием пузырьков в водяной струе. Строгое определение явления таково: кавитация — нарушение сплошности текущей жидкости, возникающее из-за снижения в ней локального давления до величины давления паров, насыщающих эту жидкость. Иногда ее называют «холодным кипением», которое происходит при пониженном давлении. Большое значение для запуска процесса имеет количество растворенного в жидкости воздуха. Из гидромеханики хорошо известно, что при обтекании любого тела у его поверхности образуется зона разрежения размером в максимальную ширину тела вдоль набегающего потока. Именно в этой зоне могут развиваться кавитационные явления. С проблемой кавитации сталкиваются различные исследователи, занимающиеся вопросами течения жидкостей. В технических приложениях она крайне актуальна при проектировании гребных винтов и вообще движителей судов, турбин, насосов и других подобных устройств [1].

Немного истории

Впервые указал на возможность существования кавитационных явлений на движителях судов известный английский ученый О.Рейнольдс [2], который правильно понял и описал физические про-

цессы, протекающие при кавитации вблизи винта. Самого термина «кавитация» он не использовал, тот еще не был тогда введен в научный оборот. С явлением кавитации на построенных судах столкнулись в 1893–1894 гг. при натурных испытаниях миноносца «Дэринг» и первого в мире судна, оборудованного турбиной, — «Турбинии». Оба этих судна не смогли на деле показать ожидаемую при их проектировании скорость. Причину наблюдаемых фактов разгадал Р.Э.Фруд, сын и последователь знаменитого английского ученого и корабеля В.Фруда [3]. Им же и был предложен термин «кавитация». Р.Э.Фруд и Ч.А.Парсонс (создатель судна «Турбиния») выполнили достаточно большой объем прикладных исследований и нашли приемлемые технические решения, обеспечившие защиту движителей этих судов от возникновения на них развитой кавитации.

Описанные события стимулировали изучение кавитационных явлений во многих странах, развивающих судостроительную промышленность. В СССР такие работы стали активно вестись для нужд кораблестроения в 60-е годы прошлого столетия. В первую очередь они были направлены на анализ акустики кавитационных процессов. Благодаря трудам таких ученых, как Л.А.Эпштейн, А.Д.Перник, Ю.Л.Левковский и др., были разработаны методики оценки акустических характеристик греб-



Григорий Ильич Каневский, доктор технических наук, руководитель проектов отделения ходкости судов и кораблей Крыловского государственного научного центра. Область научных интересов — прогнозирование ходовых качеств судов, проектирование их формы корпуса и движителей.



Александр Михайлович Клубничкин, начальник сектора лаборатории морской ледотехники того же центра. Занимается проектированием движительных комплексов судов.



Кирилл Евгеньевич Сазонов, доктор технических наук, начальник той же лаборатории, профессор кафедры «Океанотехника и морские технологии» Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Специалист в области морской ледотехники и теории корабля.
e-mail: k_sazonov@ksrc.ru

ных винтов и предложены методы проектирования движителей, обладающих сниженным уровнем шума. Для уменьшения вредного влияния развитой кавитации на характеристики гребных винтов быстроходных судов академик В.Л.Позднюин выдвинул идею использовать специальные суперкавитирующие винты, которые приспособлены для работы

тока в месте расположения гребного винта, м/с; ρ — плотность воды, кг/м³.

При заданном режиме обтекания движителя возможность возникновения того или иного кавитационного явления определяется неравенством $\sigma_{0cr} \leq \sigma_0$, где σ_{0cr} — критическое значение числа кавитации для данного режима обтекания.

в условиях развитой кавитации. Результаты этих исследований описаны в большом количестве монографий, учебников и справочников (см., например, [4]).

В настоящее время в развитии кавитационных явлений на гребных винтах различают две стадии. На первой стадии у лопастей винтов образуются начальные формы кавитации (пузыри, пленки, небольшие каверны), при этом изменения гидродинамических характеристик движителя, его упора и момента (рис.1,а) не происходит, зато возникают различные акустические и вибрационные процессы, сопровождающие движение судна. Вторая стадия — развитая кавитация — приводит к снижению гидродинамических характеристик гребного винта (рис.1,б). Кавитационные явления на движителях характеризуют числом кавитации, которое задается следующим выражением:

$$\sigma_0 = \frac{p - p_v}{(\rho/2)v^2}. \quad (1)$$

Здесь p — давление в месте расположения гребного винта, Н/м²; p_v — давление насыщенных паров воды, Н/м²; v — скорость по-

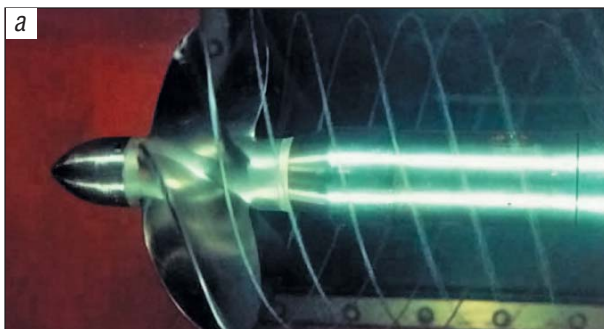


Рис.1. Различные стадии кавитации на гребных винтах: начальная (а) и развитая (б). Сначала формируется небольшая каверна на кромке лопасти гребного винта, а также возникает кавитация концевой вихря лопасти (а). Развитая кавитация засасывающей поверхности лопасти гребного винта выражается в развитии больших каверн, захватывающих большую часть поверхности лопасти. Сходящая вихревая пелена содержит значительное число паровых пузырей (б).

Вторая стадия кавитации может возникать в двух существенно различающихся по характеру движения судна ситуациях. Первая ситуация отвечает движению судна с высокой скоростью, при которой число кавитации становится критическим или меньше его. Вторая, наоборот, характерна для движения судна с очень маленькой скоростью, но при высоком уровне сопротивления. Она возможна при эксплуатации ледоколов, предназначенных для преодоления сопротивления льда их движению, буксиров, тянущих несамоходные плавучие объекты, а также траулеров в режиме траления. В этом случае возникновение развитой кавитации не может быть описано критерием (1), так как число кавитации в указанной форме при стремлении скорости движения к нулю стремится к бесконечности. Приходится использовать число кавитации, вычисленное по частоте вращения движителя n :

$$\sigma_b = \frac{p - p_v}{(\rho/2)n^2 D^2}, \quad (2)$$

где D — диаметр движителя. Связь между двумя формами записи числа кавитации задается выражением $\sigma_0 = \sigma_b/J^2$, где $J = v/(nD)$ — поступь движителя. Возникновение развитой кавитации на гребном винте снова происходит при снижении действующего числа кавитации σ_b ниже некоторого критического значения.

В какой-то мере изучению развитой кавитации на обычных гребных винтах не уделялось достаточного внимания. Интерес к этой тематике возник в последние годы благодаря увеличению энерговооруженности судов при наличии существенных ограничений на возрастание размеров движителей, а также в связи с экономической необходимостью ускорить движение некоторых типов транспортных судов, например, контейнеровозов. Кроме этого, при создании ледокольного флота постоянно растут требования к максимальной толщине преодолеваемого льда, что побуждает повышать тяговые характеристики движителей на режимах движения, близких к швартовному*. И здесь резко увеличивается вероятность возникновения развитой кавитации на гребных винтах.

* Швартовным называется режим, при котором скорость движения судна равна нулю.

Что и как измеряется...

Изучение развития кавитационных явлений на движителях, а также проверка защищенности спроектированных гребных винтов от возникновения на них различных стадий кавитации осуществляется в специальных экспериментальных установках: кавитационных трубах и бассейнах [5]. Кавитационная труба (рис.2) представляет собой довольно сложную конструкцию, в которой организована циркуляция воды в замкнутом канале. При этом имеется возможность регулирования скорости потока и давления. В каждой кавитационной трубе имеется рабочий участок канала, где в зависимости от его размеров устанавливается модель изолированного движителя или модель движителя, расположенная за полностью или частично воспроизведенной моделью судна. В таких трубах проводятся испытания движителей при заданных значениях скорости движения и частоты вращения винта и при изменении числа кавитации, которое регулируется путем изменения давления. К сожалению, эксперименты в кавитационных трубах не могут ответить на все практически важные вопросы. Так, в подавляющем большинстве здесь нельзя проводить испытания со свободной поверхностью воды: на результаты испытаний в трубах сильное влияние оказывают границы потока. Не удается и исследовать развитую кавитацию движителей на швартовном режиме — из-за того, что в замкнутом водяном контуре возникают довольно значительные вызванные скорости потока. Поэтому часть кавитационных испытаний

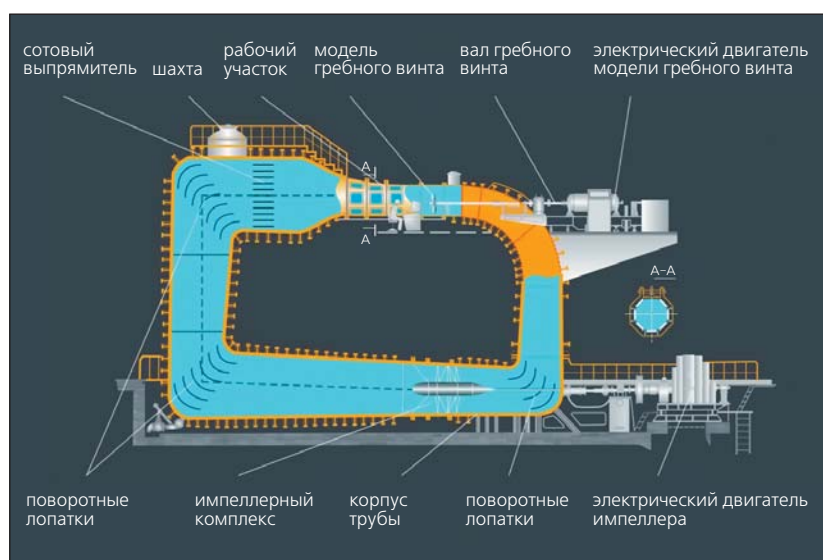


Рис.2. Принципиальная схема кавитационной трубы. Все кавитационные трубы имеют герметичный замкнутый в кольцо корпус, по которому с помощью импеллера циркулирует вода. Корпус переменной сечения располагается в вертикальной плоскости, что позволяет улучшить условия работы импеллера благодаря действию гидростатического давления. На рабочем участке кавитационной трубы размещаются модели движителей и другие объекты исследования.

выполняют на экспериментальных установках другого типа — кавитационных бассейнах.

Кавитационный бассейн представляет собой опытовый бассейн (рис.3), полностью помещенный в герметичную оболочку. В состав оборудования обязательно входят вакуумные насосы, обеспечивающие снижение давления над зеркалом воды в бассейне. Как правило, есть там и буксировочные тележки или каретки, которые функционируют в автоматическом режиме по заданной программе. С их помощью в кавитационном бассейне осуществляют буксировку изучаемых объектов, в том числе и полностью оборудованных моделей судов. Размеры систем позволяют исследовать работу изолированных движителей и движителей, установленных на модели судна, на швартовном режиме, так как в них движитель работает практически в невозмущенном потоке. Кавитационные бассейны используются также для изучения возможностей «прососа» воздуха к работающему движителю. В них можно также моделировать различные внешние условия, например мелководья.

На рис.4 представлены типичные результаты испытания модели гребного винта быстроходного судна в кавитационной трубе — зависимости коэффициента упора K_T , коэффициента момента K_Q и коэффициента полезного действия η_0 от поступи J при различных значениях числа кавитации. Перечисленные безразмерные параметры определяются следующим образом:

$$K_T = T / (\rho n^2 D^4), \quad K_Q = Q / (\rho n^2 D^5), \\ \eta_0 = J / (2\pi) (K_T / K_Q), \quad J = v / (nD),$$

где T — упор гребного винта, Q — момент на гребном винте, n — частота вращения гребного винта. Упором гребного винта называется проекция на ось вращения движителя интегральной силы, действующей на лопасти при его взаимодействии с жидкостью. Под моментом на гребном винте понимают момент, действующий на лопасти гребного винта в плоскости вращения, включающий гидродинамический и инерционный моменты.

...и какую информацию дает

Анализ данных, приведенных на рис.4, позволяет заключить, что при заданном числе кавитации σ_0 экспериментальные точки при больших значениях поступи J совпадают с таковыми, получен-



Рис.3. Кавитационный бассейн Крыловского государственного научного центра. Хорошо видна внешняя герметичная оболочка бассейна, внутри которой можно создавать разрежение воздуха и за счет этого менять числа кавитации исследуемых объектов.

ными при атмосферном давлении (без кавитации). Затем, по мере уменьшения поступи, точки «отваливаются» от результатов при атмосферном давлении. Часто перед «отвалом» вниз изучаемой величины (упора или момента гребного винта) на-

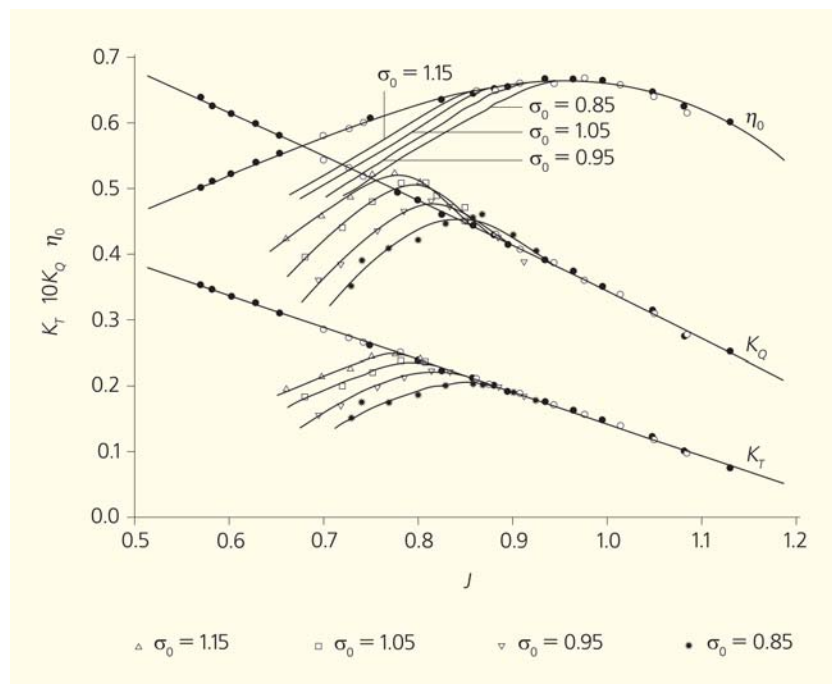


Рис.4. Зависимости коэффициента упора K_T и коэффициента момента K_Q модели гребного винта от значения поступи J . Показаны так называемые «кривые действия» движителя, полученные как в обычном гидродинамическом бассейне при атмосферном давлении ($\circ$ — $v = 5.5$ м/с, $\bullet$ — $n = 30$ об./мин), где кавитационные явления не происходят, так и в кавитационной трубе. Испытания в кавитационной трубе характеризуются наличием «отвалов», которые указывают, что на движителе возникла развитая кавитация.

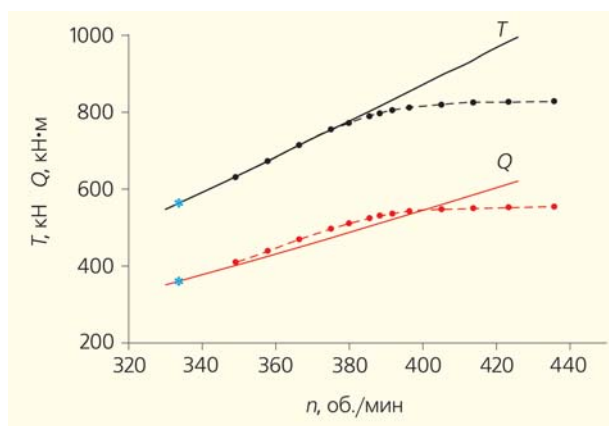


Рис.5. Зависимость упора T и момента Q гребного винта судна от частоты вращения гребных валов n . Звездочкой * помечен момент возникновения развитой стадии кавитации на гребном винте. Хорошо видно, что во второй стадии размерные значения упора и момента движителя (штриховые кривые) в довольно широком диапазоне изменения частоты вращения (мощности, подводимой к движителю) сначала практически не отличаются от соответствующих значений без кавитации (сплошные кривые), а затем выходят на некоторую асимптоту.

блюдается некоторое ее увеличение. Работа гребного винта в зоне «отвала» указывает на появление развитой, или второй, стадии кавитации. Таким образом, при развитой кавитации коэффициент упора K_T и коэффициент момента K_Q гребного

винта отличаются от значений, полученных в ее отсутствие. Величина запаса против возникновения второй стадии кавитации, которую имеет движитель, характеризуется отношением двух чисел кавитации: критического значения, при котором возникает вторая стадия, и той реальной величины, при которой происходит эксплуатация движителя.

Рассмотрим более подробно явления, происходящие при возникновении развитой кавитации на движителях быстро движущегося судна, которое по мере увеличения частоты вращения гребных винтов «вваливается» во вторую стадию кавитации [6]. Многие специалисты по ходкости судов отождествляют эту стадию с катастрофическим падением гидродинамических характеристик гребных винтов. При этом обычно они не учитывают, что резкие изменения характерны для величин в безразмерном представлении, тогда как изменение размерных характеристик происходит достаточно плавно. Для размерных величин упора и момента гребного винта наблюдается выход на постоянные значения (рис.5).

На рис.6 приведены зависимости потребной мощности P_s и частоты вращения гребных винтов n (которая задается подводимой к движителю мощностью) от скорости хода судна V_s . Сплошными линиями представлены результаты расчета без учета кавитации, пунктирными — с учетом. Звездочкой отмечена точка начала работы гребных

винтов во второй стадии кавитации. Видно, что при возрастании скорости хода на один узел после момента формирования развитой кавитации последняя еще существенно не влияет на характеристики движения. Затем, по мере роста скорости хода, воздействие кавитации нарастает, и в конце концов скорость выходит на асимптотическое значение в 30.5 узла. Любое увеличение числа оборотов и потребной мощности не позволяет получить скорость хода выше асимптотического. Ясно, что движение при наличии развитой кавитации сопровождается неэффективной переработкой мощности главных двигателей.

В то же время данные рис.6 позволяют сделать вывод о том, что работа гребных винтов на начальном этапе второй стадии кавитации остается допустимой. Движители в этом случае функционируют с потерей эффективности, составляющей всего лишь

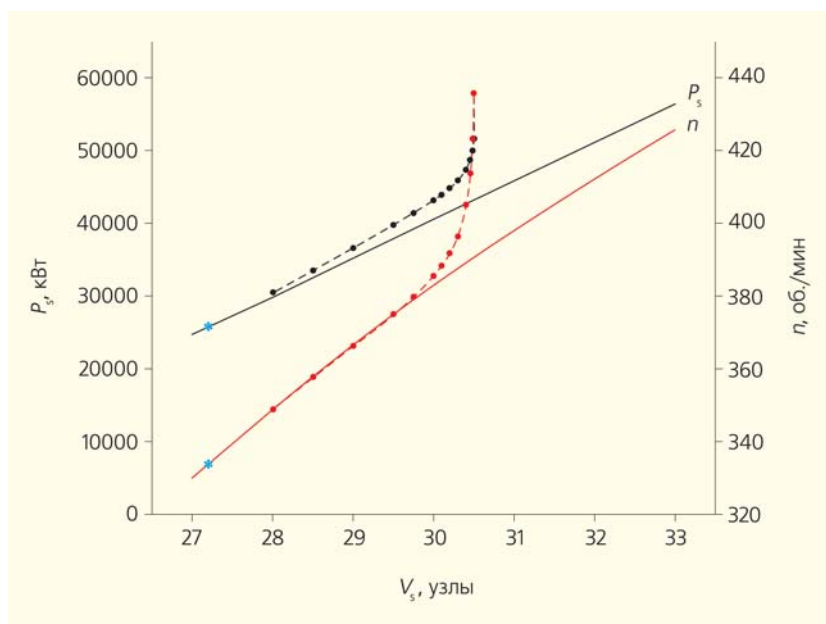


Рис.6. Зависимость потребной мощности P_s и частоты вращения гребных винтов n от скорости хода судна V_s . Звездочкой * помечен момент возникновения развитой стадии кавитации на гребном винте. Видно, что сначала скорость движения судна при увеличении подводимой к движителю мощности продолжает возрастать (штриховые кривые), хоть и по другим законам, чем при отсутствии кавитации (сплошные кривые). При дальнейшем увеличении мощности процесс выходит на некоторую асимптоту по скорости движения судна: рост мощности больше не увеличивает скорость.

десятые доли процента. Если это обстоятельство использовать при проектировании движителей и учесть, что движение полным ходом составляет только 1% жизни судна, можно заметно повысить эффективность работы движителей при других режимах хода.

В случае эксплуатации ледоколов и других судов, у которых развитая кавитация движителей может возникать при малой скорости движения, картина развития кавитационных явлений выглядит другим образом. На рис.7 представлены типичные результаты испытаний движителей одного из ледоколов на швартовном режиме в кавитационном бассейне: зависимости коэффициентов упора и момента от числа кавитации σ_b . В отличие от данных, приведенных на рис.1, кривые получены при значении поступи $J = 0$. При уменьшении числа кавитации K_T и K_Q несколько увеличиваются. K_Q на рисунке достигает максимума при $\sigma_b = 1.5$. Это значение числа кавитации часто принимают в качестве критического, за которым начинается вторая стадия кавитации, сопровождающаяся резким уменьшением коэффициентов упора и момента. Данные рис.7 воспринимаются проектантами ледоколов как указание, что развития второй стадии кавитации на гребных винтах допускать нельзя [7], для чего вводится 15–20-процентный запас на кавитацию. Введение этого запаса снижает тяговые характеристики движителя.

Рассмотрим характер изменения упора и момента после начала работы гребного винта во второй стадии кавитации на швартовном режиме. На рис.8 представлена зависимость упора T и момента Q гребного винта ледокола от частоты вращения гребного вала n . Без учета влияния кавитации эти зависимости представляют собой квадратичную параболу. Влияние кавитации вначале приводит к увеличению упора на 2% и момента примерно на 5%, а затем к заметному уменьшению этих характеристик по сравнению с данными, полученными без кавитации. Согласно приведенным данным, по мере развития второй стадии кавитации на швартовном режиме эффективность создания упора падает, но вначале достаточно медленно. Это означает, что при работе гребного винта на швартовах, как и при движении полным ходом, можно допустить начальный этап второй стадии кавитации. Практическое использование этого обстоятельства при проек-

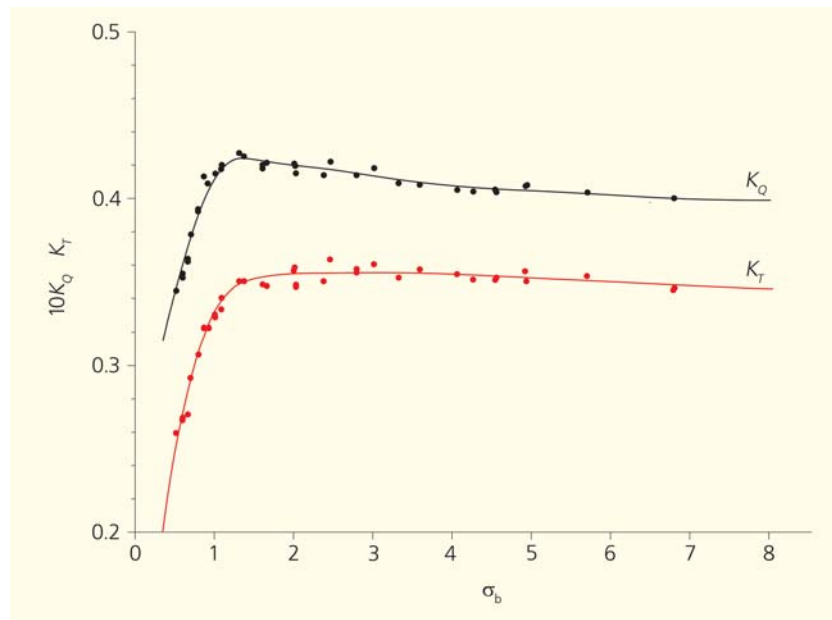


Рис.7. Зависимость коэффициента упора K_T и коэффициента момента K_Q модели гребного винта ледокола от числа кавитации σ_b (2) на швартовном режиме в кавитационном бассейне. При увеличении подводимой к движителю мощности число кавитации уменьшается, достигая критического значения, после чего может наблюдаться незначительное увеличение коэффициентов упора и момента гребного винта, а затем резкое падение этих безразмерных гидродинамических характеристик.

тировании гребных винтов ледоколов позволяет повысить на несколько процентов их тяговые характеристики при движении во льдах.

Обращает на себя внимание различное поведение зависимостей упора и момента гребного

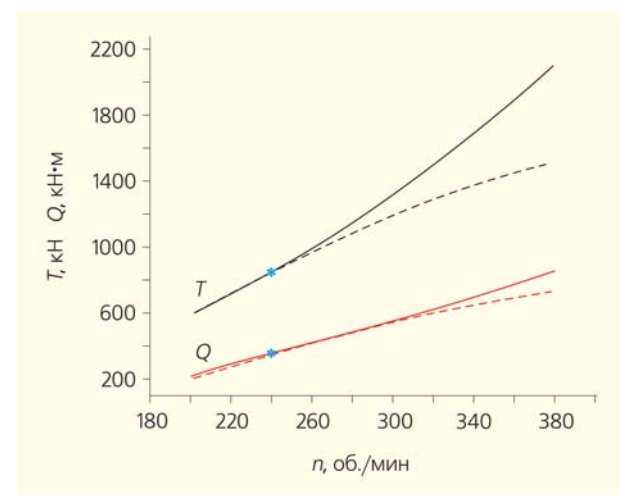


Рис.8. Зависимость упора T и момента Q гребного винта судна от частоты вращения гребных валов n . Звездочкой * помечен момент возникновения развитой стадии кавитации на гребном винте. Приведенные кривые демонстрируют незначительное отличие размерных гидродинамических характеристик гребного винта после возникновения второй стадии (штриховые кривые) от соответствующих значений без кавитации (сплошные кривые).

винта, работающего во второй стадии кавитации, при изменении скорости движения судна (рис.2) и частоты вращения движителей (рис.5). В первом случае упор и момент начиная с некоторого значения скорости остаются постоянными, в другом продолжают увеличиваться, но с меньшей интенсивностью.

Недавние результаты модельных исследований кавитационных характеристик перспективных ледоколов в кавитационном бассейне позволили выявить существенное влияние корпуса модели на процесс возникновения второй стадии кавитации на швартовном и близких к нему режимах движе-

ния. Оказалось, что при наличии корпуса запас на возникновение второй стадии кавитации значительно увеличивается (на 30–50%) по сравнению с запасами, определенными для изолированного движителя. Учет роли корпуса открывает новые возможности для совершенствования проектирования гребных винтов ледоколов, работающих в условиях повышенной гидродинамической нагрузки. Уже предложена новая методика определения запасов на возникновение второй стадии кавитации гребных винтов ледоколов, которая учитывает описанные выше особенности развития второй стадии кавитации [8].■

Литература / References

1. Пирсол И. Кавитация. М., 1975. [Pearsall I.S. Cavitation. Mills and Boon Limited. London, 1972.]
2. Reynolds O. The causes of the racing of the engines of screw steamers investigated theoretically and by experiment. Transactions of the Institution of Naval Architects. 1873. Available at: ia800701.us.archive.org/27/items/papersonmechanic01reynrich/paperson-mechanic01reynrich.pdf.
3. Сазонов К.Е. Роль В.Фруда в создании теории корабля. Судостроение. 2010; 5: 64–68. [Sazonov K.E. The role of W.Froude in the creation of ship theory. Shipbuilding. 2010; 5: 64–68. (In Russ.).]
4. Справочник по теории корабля: в трех томах. Т.1: Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители. Ред. Я.И.Войткунский. Л., 1985. [Handbook of ship theory: in three volumes. V.1: Hydromechanics. Resistance to ship traffic. Ship movers. Ya.I.Voitkunsky (ed.). Leningrad, 1985. (In Russ.).]
5. Боруевич В.О., Русецкий А.А., Сазонов К.Е., Соловьев И.А. Современные гидродинамические лаборатории. СПб., 2019. [Borusewicz V.O., Rusetskiy A.A., Sazonov K.E., Soloviev I.A. Modern hydrodynamic laboratories. St. Petersburg, 2019. (In Russ.).]
6. Каневский Г.И., Капранцев С.В., Круглова С.Н. Прогнозирование ходовых качеств при наличии развитой кавитации гребных винтов. Тезисы доклада НТК XLII Крыловские чтения. 2006: 25–27. [Kanevsky G.I., Kaprantsev S.V., Kruglova S.N. Prediction of driving performance in the presence of advanced propeller cavitation. Abstracts of NTK XLII Krylovsky Readings. 2006: 25–27. (In Russ.).]
7. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. СПб., 2010. [Sazonov K.E. The theoretical basis of the navigation of ships in ice. St. Petersburg, 2010. (In Russ.).]
8. Каневский Г.И., Клубничкин А.М., Лобачев М.П., Рудниченко А.А. Разработка методики определения запаса гребных винтов ледоколов на развитую кавитацию. Труды Крыловского научного центра. 2018; 2(384). [Kanevsky G.I., Klubnichkin A.M., Lobachev M.P., Rudnichenko A.A. Development of a methodology for determining the stock of propellers of icebreakers for advanced cavitation. Proceedings of the Krylov Shipbuilding Research Center. 2018; 2(384). (In Russ.).]

Developed Screw-Propeller Cavitation

G.I.Kanevsky¹, A.M.Klubnichkin¹, K.E.Sazonov^{1,2}

¹Krylov State Research Centre (Saint Petersburg, Russia)

²State Marine Technical University (Saint Petersburg, Russia)

Cavitation is a violation of the continuity of the flowing fluid, caused by a decrease in the local pressure to the vapor pressure saturating this fluid. In engineering context, cavitation is extremely significant in the designing screw-propellers and propelling machinery of ships in general, as well as other similar devices. Hydromechanics made it well known that there is a rarefaction zone in a flow around the surface of a body — in this zone cavitation phenomena can develop. There are two stages of cavitation phenomena development on propellers: at the first one, the initial forms of cavitation (bubbles, films, small caverns) are created near the propeller blades. There is no change in hydrodynamic characteristics of the propeller device. The second stage — developed cavitation — results in derating the propeller's hydrodynamic characteristics. Recent model studies of the cavitation characteristics of icebreakers have revealed a significant effect of the model's hull on formation of the second cavitation stage at the mooring and close to it modes of movement. It turned out that the hull significantly increases the margin of strength during the occurrence of the second stage of cavitation in comparison with the margins determined for an isolated propeller unit. So, the role of the hull offers opportunities for improving the propeller design for icebreakers operating in conditions of increased hydrodynamic load.

Keywords: cavitation, developed cavitation, ship propelling machinery, propellers, icebreakers.

Железомарганцевые отложения в океане: от наночастиц до макрообъектов

Г.В.Новиков

Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН (Москва, Россия)

В статье приводится анализ существующих на сегодняшний день гипотез образования океанских железомарганцевых отложений (ЖМО). Однако ни одна из предлагаемых гипотез не отвечает истинным процессам формирования и дальнейшего роста этих отложений — они лишь свидетельствуют об источнике вещества и механизме его транспортировки к активным поверхностям для образования и развития рудного компонента ЖМО. В результате экспериментального физико-химического моделирования получены аналоги рудных Мп-минералов: вернадит, бузеврит-I, бернессит, Ni-асболан, Co-асболан. Преобладающий среди них — вернадит. Определены два основополагающих механизма образования Мп-минералов: окислительно-осадительный и сорбционно-окислительный, протекающие с высокими скоростями химических реакций. Установлены также механизмы формирования химического состава ЖМО: соосадительный и сорбционный. Первый имеет ограниченное время действия, тогда как второй может продолжаться в течение всего роста ЖМО. Значимый механизм образования океанских ЖМО — трансформация Мп-минералов друг в друга, имеющая вторичную природу и протекающая с участием сорбированных катионов металлов.

Ключевые слова: железомарганцевые отложения, рудные минералы, механизмы образования, синтез, сорбция, ионообменная емкость.

Образование железомарганцевых минералов в океане — уникальное природное явление планеты Земля. Оно характерно только для водной среды — от огромных акваторий Мирового океана до небольших озер на континентах. На сегодняшний день открыто пять типов железомарганцевых образований (ЖМО): конкреции, микроконкреции, корки, корковые конкреционные образования и низкотемпературные гидротермальные отложения (рис.1). В свою очередь, конкреции представлены тремя разновидностями — диагенетическими, седиментационными и седиментационно-диагенетическими, а низкотемпературные гидротермальные отложения — марганцевыми корками, налетами, пленками и железистыми охристыми образованиями. Железомарганцевые отложения встречаются во всех районах Мирового океана, но наибольшие их скопления отмечаются в трех различных по фациальным условиям областях. В пелагических и абиссальных котловинах залегают конкреции разного генезиса. Во вмещающих их осадках весьма часто обнаруживаются микроконкреции. Подводные возвышенности покрыты кобальтоносными корками, корковыми



Георгий Валентинович Новиков, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник отдела геодинамики, георесурсов, георисков и геоэкологии Института океанологии имени П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — минералогия, геохимия, физико-химические процессы образования океанских и морских твердых полезных ископаемых.
e-mail: gvnovikov@yandex.ru

конкреционными образованиями и конкрециями. На периферии гидротермальных полей на поверхности осадков, раковин моллюсков и других биологических объектов формируются низкотемпературные марганцевые налеты, пленки и железистые охристые отложения (рис.2). Среди всех ЖМО наибольшее практическое значение имеют железомарганцевые конкреции, корки и корковые конкреционные образования, запасы которых оцениваются в десятки миллионов тонн.

Одна из фундаментальных проблем океанского железомарганцевого минералообразования — расшифровка механизмов отложения ультрадисперсных рудных минералов марганца и железа и последующей их эволюции до современного агрегатного состояния в процессе роста железомарганце-

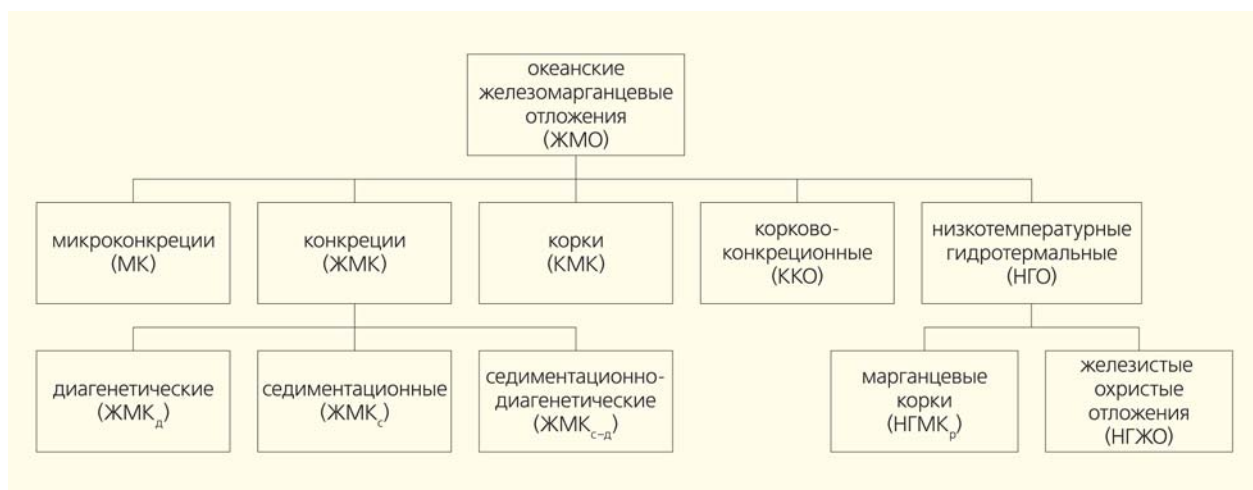


Рис.1. Классификация океанских железомарганцевых отложений.

вых отложений — остается по-прежнему актуальной и дискуссионной. Этому вопросу посвящено множество публикаций. Их основу составляют работы теоретической направленности, которые рассматривают процесс железомарганцевого рудообразования в глобальном геологическом масштабе и времени. Однако непосредственному процессу образования рудных минералов марганца и железа как акту химическим реакциям уделено значительно меньше внимания.

Вместе с тем неотъемлемой частью данной проблемы остается вопрос о механизмах концентрирования и формах нахождения ионов металлов в железомарганцевых образованиях. Его решение будет способствовать как более полному познанию природы этих уникальных отложений океа-

на, так и, возможно, созданию новых технологических схем переработки конкреций и корок с получением из них большого количества металлов.

Теоретические представления о механизмах образования ЖМО

К середине 80-х годов XX в. сформировались определенные представления о механизмах образования железомарганцевых отложений (прежде всего, конкреций и корок), которые не потеряли своей актуальности до сих пор.

Седиментационное (гидрогенное) формирование конкреций и корок происходит в результате непосредственного медленного осаждения коллоидных частиц гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и растворенных ионов Mn^{2+} из придонного слоя воды [1–7]. Считается, что седиментационный механизм — единственный возможный при образовании рудных корок, корковых конкреционных образований и конкреций на поверхности подводных возвышенностей. Он доминирует и при формировании конкреций на поверхности окисленных глин, в которых диагенетического перераспределения Mn и Fe практически не происходит.

Диагенетический механизм формирования конкреций основывается на диффузионном потоке реакционноспособных ионов металлов, и в первую очередь марганца, с сопутствующими ему элементами — снизу, из поровых вод осадков, к верхней границе их полужидкого слоя [1–3, 6–8].

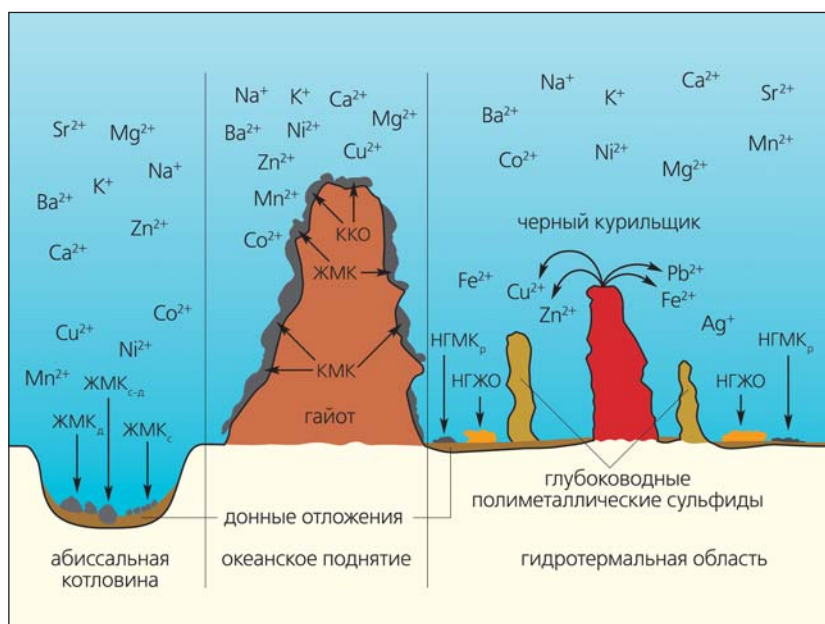


Рис.2. Схема расположения железомарганцевых отложений в областях с различными фациальными условиями. Расшифровка сокращений приведена на рис.1.

В этом случае конкреции образуются в зоне геохимического барьера на границе раздела вода—осадок, где особое значение имеют физико-химические параметры водной среды: pH, Eh, концентрации кислорода и поступающих из осадков ионов металлов.

Седиментационно-диагенетический механизм представляет собой разновидность первых двух [1]. Его особенность состоит в том, что в зависимости от поставки ионов металлов к активной реакционноспособной поверхности конкреций скорость их роста различается. Она ниже у подошвы, обусловленная диффузионной миграцией ионов металлов из поровых вод, и выше сверху из-за осаждения Mn и Fe из придонной воды.

Гидротермальное образование железомарганцевых отложений происходит при поступлении ионов металлов на океанское дно в результате различных факторов: гидротермальной деятельности в областях высокотемпературного теплового потока, связанного с вулканизмом; за счет магматических источников или при взаимодействии остывающей лавы с холодной (1.5–4°C) океанской водой; из сильно разбавленного гидротермального раствора [9–12].

Гальмолитический механизм основан на поступлении в железомарганцевые отложения ионов металлов за счет низкотемпературного выщелачивания базальтов, вулканитов и других пород подводных гор [5].

Наиболее дискуссионным механизмом образования железомарганцевых отложений считается *биогенный*. Его основу составляет различное геохимическое поведение ионов металлов при поглощении их живыми организмами и микроорганизмами с последующим переходом в придонный слой воды или поровые воды осадков [13–17]. Многие из цитированных и других исследователей

считают данный механизм преобладающим или даже единственно возможным. В биологических процессах участвуют различные виды микроорганизмов: *Proteobacteria*, *Leptothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa*, цепочечные, спиральные бактерии, цианобактерии, ультрамикророссы и др. Они служат аккумуляторами и поставщиками многих элементов от мест их поступления в океан к участкам, где образуются и формируются железомарганцевые отложения.

Однако ни один из предлагаемых механизмов не отвечает истинным процессам образования и дальнейшего роста этих уникальных отложений. Все они по своей сути рассматривают только внешние условия и лишь свидетельствуют об источнике вещества и его транспортировке к активным поверхностям для образования и развития рудного компонента в железомарганцевых отложениях.

Вместе с тем были установлены и систематизированы характерные ассоциации преобладающих рудных минералов в каждом типе ЖМО Мирового океана [18]. Из табл.1 видно, что набор рудных минералов в ЖМО стабилен. В них присутствуют минералы марганца слоистой и туннельной структуры: вернадит, Fe-вернадит, бузерит-I, асболоан-бузерит, бернессит, асболоан, бузерит-II (последние два редко) и тодорокит, пиролюзит, романешит. В химическом отношении данные минералы состоят из гидратированного диоксида марганца ($MnO_2 \cdot nH_2O$). Железистые минералы представлены, прежде всего, различными формами гидроксида железа ($FeOOH$) — гетитом и Mn-фероксигетитом, а также характерными только для низкотемпературных гидротермальных железистых отложений протоферригидритом, Si-содержащим протоферригидритом, ферригидритом (смешанным оксид-гидроксидами железа с общей формулой $Fe_2O \cdot FeOOH \cdot nH_2O$) и гематитом (Fe_2O_3). Важно от-

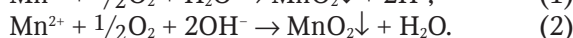
Таблица 1

Минералогическая типизация железомарганцевых отложений (ЖМО) Мирового океана

Тип ЖМО	Океаны		
	Тихий	Индийский	Атлантический
Диагенетические конкреции	бузерит-I, асболоан-бузерит, бернессит, асболоан, тодорокит, романешит, пиролюзит	бузерит-I, асболоан-бузерит, бернессит, вернадит	бузерит-I, асболоан-бузерит, бернессит
Седиментационные конкреции	Fe-вернадит, Mn-фероксигетит, Fe-X-фаза, вернадит, асболоан-бузерит, бернессит	Fe-вернадит, Mn-фероксигетит, гетит, вернадит, асболоан-бузерит	Fe-вернадит, Mn-фероксигетит, гетит
Микроконкреции	асболоан-бузерит, бернессит, асболоан, тодорокит	асболоан-бузерит, бернессит, вернадит, фероксигетит, гетит	асболоан-бузерит, бернессит, вернадит, фероксигетит, гетит
Гидрогенные корки, корково-конкреционные отложения, конкреции	Fe-вернадит, Mn-фероксигетит	Fe-вернадит, Mn-фероксигетит, гетит	Fe-вернадит, Mn-фероксигетит, гетит
Низкотемпературные гидротермальные отложения	Mn бернессит, вернадит, тодорокит, романешит	бернессит, тодорокит, пиролюзит	бернессит, вернадит
	Fe протоферригидрит, Si-протоферригидрит, ферригидрит, гематит		протоферригидрит, Si-протоферригидрит, ферригидрит, гетит, гематит

метить, что возраст ЖМО (т.е., по сути, слагающих их рудных минералов) оценивается в десятки миллионов лет. Это позволяет предположить, что они могут быть продуктами различных процессов, которые происходят в недрах под океаном. Несмотря на различия в фациальных условиях разных районов океана и одинаковый состав рудных минералов ЖМО, процессы их образования и последующего формирования могут протекать в едином эволюционном направлении.

Исходя из физико-химических условий среды, в которой находятся железомарганцевые отложения, можно предположить, что основной окислитель растворенных катионов Mn^{2+} — растворенный кислород. Химический процесс получения гидратированного диоксида марганца при окислении катионов Mn^{2+} достаточно прост и в нейтральной (слабокислой) и слабощелочной среде протекает в соответствии со следующими реакциями:

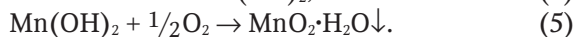
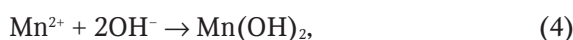


Образующийся диоксид Mn^{4+} в различных минеральных формах в термодинамическом отношении химически устойчив.

Окисление катионов Mn^{2+} проходит, скорее всего, через стадию образования гидроксида Mn^{3+} в виде фаялиткнехтита β - $MnOOH$ и Mn_3O_4 , которые затем самопроизвольно разлагаются (диспропорционируют) на Mn^{2+} и Mn^{4+} [19, 20]. В то же время хорошо известно, что гидроксид Mn^{3+} может не только диспропорционировать, но и окисляться до MnO_2 :



Образование гидратированного диоксида марганца осуществляется и через стадию образования гидроксида Mn^{2+} — пирохронта $Mn(OH)_2$, поскольку катионы Mn^{2+} в слабощелочной среде обладают достаточно высокой степенью гидратации [20]:



Другим активным окислителем растворенных катионов металлов считается пероксид водорода H_2O_2 , который поступает в океанскую воду в результате окислительного метаболизма микроорганизмов. Эффективная окисляемость катионов Mn^{2+} и Fe^{2+} наблюдается в присутствии микроорганизмов видов *Leptothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa* [13, 14]. В щелочной и нейтральной среде пероксид водорода при его низкой концентрации в океанской воде самопроизвольно разлагается на кислород и воду:



Данная реакция, несмотря на кажущуюся легкость, — многоступенчатая. При ее протекании образуются атомарный кислород, свободный гид-

роксильный радикал $OH^\cdot$ и гидропероксид-ион (пероксогруппа) $HO_2^\cdot$. Новообразованные ионы химически активны и быстро вступают в последующие реакции. Кроме того, указанные выше микроорганизмы содержат каталазу — фермент, который катализирует разложение H_2O_2 . Таким образом, несмотря на то что окисление растворенных катионов Mn^{2+} пероксидом водорода в щелочной среде протекает в соответствии с реакцией



главенствующую роль в данном процессе играет кислород биогенного происхождения.

Синтез и свойства марганцевых минералов

Выше были рассмотрены теоретические представления о механизмах образования железомарганцевых отложений. Совершенно очевидно, что решение поднятой проблемы возможно только при проведении экспериментальных физико-химических исследований по синтезу и свойствам рудных минералов марганца — основных концентраторов большинства катионов металлов в ЖМО [21]. На протяжении последних 20 лет мы проводили такие работы. В них подробно изложены условия синтеза, минеральный и химический состав полученных марганцевых фаз, влияние разных факторов на их получение [22–25]. В данной статье остановимся только на основных аспектах проведенных исследований.

Первый. Эксперименты велись при температуре растворов солей металлов 2–6°C, что практически соответствует температуре придонного слоя океанской воды.

Второй. В качестве окислителей использовался молекулярный кислород O_2 , пероксид водорода H_2O_2 и для сравнения — воздушная смесь (т.е. «океанские» реагенты). Было установлено, что катионы Mn^{2+} значительно быстрее окисляются пероксидом водорода, чем молекулярным кислородом.

Третий. Растворы солей металлов готовились как на дистиллированной, так и на природной океанской воде с соленостью $S \approx 35$ ‰.

Четвертый — главный. Во всех экспериментах, проведенных при указанных параметрах (более 85%), получены следующие фазы: вернадит, бузерит-I, бернессит, Ni-асболан, Co-асболан (при наличии в растворах катионов Ni^{2+} и Co^{2+}), находящиеся в тонкодисперсном срастании между собой, подобно Mn-минералам океанских ЖМО. Преобладающей среди них — вернадит.

Пятый. Принципиально, что содержание катионов Mn^{2+} в составе гидратированного диоксида марганца составляет 0.03–2.78 масс.%. Это также аналогично их содержанию в рудных минералах ЖМО разного генезиса.

Шестой. Отсутствие в полностью окисленном гидратированном диоксиде марганца пирохроита $Mn(OH)_2$ и фаяткнехтита β - $MnOOH$ согласуется с данными по океанским железомарганцевым отложениям, в которых они также не обнаруживаются. По-видимому, пирохроит и фаяткнехтит проявляют низкую химическую устойчивость как в гипергенных условиях океана, так и в условиях, имитирующих океанскую среду марганцевого минералообразования.

Седьмой. В свежееобразованных Mn-фазах отсутствует тодорокит — минерал приаггредированных зон диагенетических и седиментационно-диагенетических конкреций и низкотемпературных гидротермальных марганцевых образований. Можно предположить, что он возникает в результате трансформации слоистых Mn-минералов с течением времени.

Восьмой. Все полученные Mn-фазы сохраняют химическую устойчивость при хранении в растворах солей щелочных, щелочноземельных, тяжелых металлов и в природной океанской воде на протяжении 20 лет (с 1997 по 2017 г.).

Девятый. Экспериментально установлены фазовые превращения вернадита, бузерита-I и бернессита друг в друга под действием сорбированных катионов тяжелых металлов с сохранением слоистого мотива их кристаллической решетки.

Десятый. Все свежееобразованные Mn-фазы — высокоселективные сорбенты катионов тяжелых металлов [22–25]. При этом обменная емкость синтетических Mn-фаз значительно больше, чем их океанских аналогов (табл.2). Это, в частности, свидетельствует о том, что изоморфное замещение катионов Mn^{4+} катионами Fe^{3+} приводит к уменьшению количества сорбционно-активных позиций в структурах Mn-минералов.

Физико-химические процессы образования Mn-минералов ЖМО

Образование «зародыша» минерального агрегата и его последующий рост зависят от скорости поступления реакционноспособных форм элементов в микрозону реакции, которая определяется областью перекрытия радиусов вступающих в реакцию ионов. Составляет она не более 1 нм (10 Å). Формирование химического состава минеральных новообразований может осуществляться за счет различных физико-химических и биохимических процессов, которые протекают как параллельно, так и последовательно и зависят от скоростей реакций. Однако сразу отметим, что химический процесс выпадения в осадок гидратированного диоксида марганца один и тот же и не зависит от типа океанской воды — придонная она, поровая или же это сама водная толща. Кроме того, вступающие в химическую реакцию с кислородом катионы Mn^{2+} обезличены, поскольку прошли значительное расстояние от источника до микрозоны, в которой образуется гидратированный диоксид марганца.

Представим себе, что в локальный момент времени в некотором микрообъеме океанской воды одновременно содержится какое-то количество катионов Mn^{2+} и растворенного молекулярного O_2 (вернее, его производных). В результате взаимодействия одного катиона Mn^{2+} с O_2 , согласно реакциям (1) и (2), происходит его окисление с последующим выпадением в осадок одной молекулы MnO_2 (рис.3). Продукт данной реакции и есть «зародыш» железомарганцевого отложения, а механизм его образования — *окислительно-осадительный*. Данный процесс протекает со столь высокими скоростями, что разделить эти реакции во времени невозможно. Окончание реакции окисле-

Таблица 2

Обменная емкость синтетических и океанских* Mn-минералов по катионам тяжелых металлов

Минеральный состав**	Обменная емкость Mn-минералов, мг-экв/г						
	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Pb^{2+}
синтетические Mn-минералы							
В, Бз-I, Б	3.05	2.42	3.36	3.65	2.24	2.30	2.06
В, Бз-I, Б	1.92	6.25	6.80	7.37	3.65	3.58	3.20
В, Бз-I	2.82	3.05	4.84	4.77	3.10	2.53	1.93
В, Бз-I	2.08	2.58	4.20	3.45	3.14	2.80	2.94
В, Б	6.05	2.76	4.25	4.35	3.15	2.53	1.84
океанские отложения							
Fe-В, Mn-Ф	2.17	1.82	2.45	2.56	1.96	1.93	2.48
железомарганцевые конкреции, седиментационные							
Fe-В, Mn-Ф	1.78	1.60	2.08	2.14	1.65	1.66	2.19
железомарганцевые конкреции, седиментационно-диагенетические							
Fe-В, Mn-Ф, Бз-I	1.91	1.71	2.11	2.22	1.75	1.77	2.18
марганцевые корки, налеты, пленки							
Б, В	2.40	2.20	2.98	3.00	2.29	2.24	2.90

* Данные по обменной емкости океанских отложений по [21].

** Минералы: В и Fe-В — вернадит и железистый вернадит, Бз-I — бузерит-I, Б — бернессит, Mn-Ф — марганцевый фероксигит.

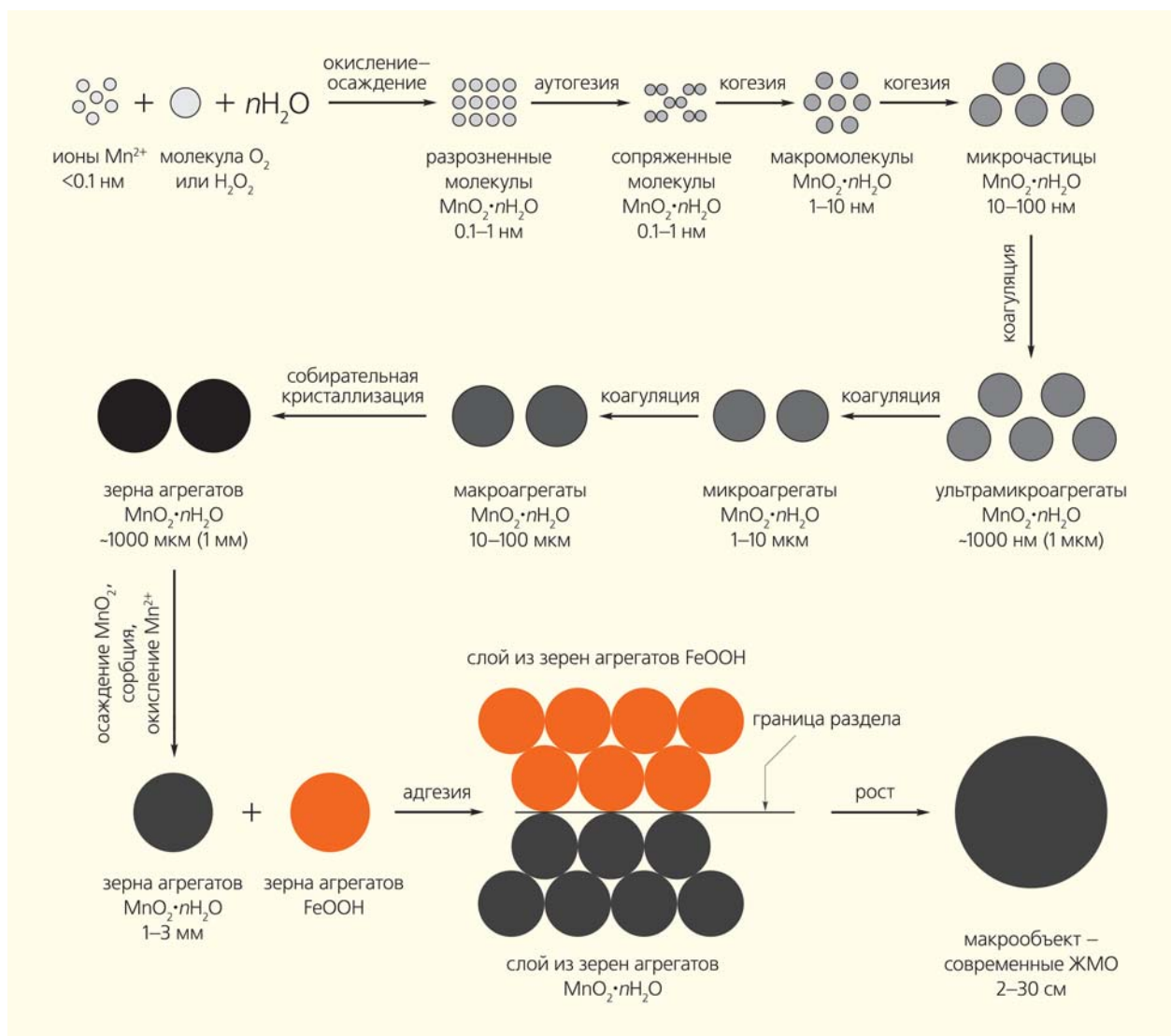


Рис.3. Иерархия структурных единиц гидратированного диоксида марганца по размеру в процессе роста железомарганцевых отложений.

ния — это начало реакции осаждения гидратированного диоксида марганца. Процесс образования $MnO_2 \cdot nH_2O$ самопроизвольный и зависит от соотношения концентраций Mn^{2+} и O_2 . При содержании O_2 меньше содержания Mn^{2+} окисление катионов протекает не полностью — до образования гидроксида Mn^{3+} (файткнехтита), а при низкой концентрации или дефиците O_2 процесс и вовсе может прекратиться, поскольку конкурентом катионам Mn^{2+} выступает органическое вещество. Однако при наличии в среде микроорганизмов видов *Lepthothrix*, *Metallogenium*, *Siderocapsa* и др., которые служат дополнительным существенным источником кислорода в виде выделяемого ими H_2O_2 , окисление Mn^{2+} протекает более интенсивно — в соответствии с реакцией (7).

Беспорядочно передвигаясь в микрообъеме воды, образовавшиеся одиночные молекулы гидратированного диоксида марганца сталкиваются. В ре-

зультате аутогезии (которая реализуется при молекулярном контакте двух одинаковых по составу и строению молекул MnO_2) они превращаются в сопряженные молекулы MnO_2 (см. рис.3). Продолжая хаотически двигаться в том же объеме воды, такие сопряженные молекулы за счет когезии (которая осуществляется силами межмолекулярного взаимодействия и химической связи) сцепляются с такими же молекулами MnO_2 , образуя уже макромолекулы гидратированного диоксида марганца (см. рис.3). По мере возрастания количества подобных молекул и дальнейшего их беспорядочного движения в микрообъеме воды образуются тонкодисперсные микрочастицы (первичные), а сама система становится коллоидной. Эти микрочастицы, скорее всего, имеют размер в несколько нанометров, и в каждой из них может содержаться до сотен гидратированных молекул MnO_2 . Именно в таких микрочастицах начинает формироваться кристал-

лическая решетка будущего минерала. Последующие столкновения микрочастиц в коллоидной системе приводят к их слипанию (коагуляции) до образования сначала ультрамикроагрегатов, а затем микроагрегатов. При этом кристаллическая решетка первичных микрочастиц в целом сохраняется, хотя и претерпевает определенные изменения, связанные с последующим формированием вещества. Кроме того, коагуляция сопровождается увеличением размера и массы микроагрегатов до макроагрегатов, что приводит к частичной дегидратации сильно гидратированных первичных микрочастиц. Как первичные микрочастицы, так и образованные ими агрегаты различного размера, находясь в коллоидном растворе во взвешенном состоянии, сохраняют седиментационную устойчивость при перемещении придонными течениями на разные расстояния. Достигнув некоторой критической массы, макроагрегаты марганцевого вещества начинают терять седиментационную устойчивость. Это приводит к их оседанию на поверхность любого твердого субстрата (подложки) — осадков и отмерших видов биоты (в случае седиментационных конкреций), бактериальных матов (в случае низкотемпературных гидротермальных марганцевых отложений), базальтов, вулканокластитов и известняков (в случае гидрогенных корок и корковых конкреционных отложений). Такой субстрат становится центром кристаллизации растущих железомарганцевых отложений. На поверхности осадка или базальта, где гидродинамическая обстановка относительно придонного слоя воды становится более спокойной, осаждение все новых макроагрегатов того же состава сопровождается собирательной кристаллизацией. При этом ранее беспорядочно движущиеся агрегаты внутри коллоидного раствора соединяются в более крупные иерархические единицы с ранее выпавшими в осадок марганцевыми кристаллами, с сохранением единой кристаллической решетки. В результате данного процесса образуются агрегаты кристаллов $MnO_2 \cdot nH_2O$ (см. рис.3). В дальнейшем за счет различных химических и физических процессов (осаждения MnO_2 , сорбции катионов Mn^{2+} на поверхность Mn-фаз, последующего их окисления, адгезии) размер агрегатов достигает современного уровня.

В итоге образуется гидратированный диоксид марганца, представленный различными минеральными разновидностями с кристаллической решеткой слоистого типа (вернадит, бузерит-I, бернесит). Преобладающим минералом в более 90% экспериментов становится вернадит, слоистая структура которого наименее упорядоченна. Связано это с высокой скоростью его образования, особенно при окислении катионов Mn^{2+} при повышенной концентрации O_2 (за счет H_2O_2). Аналогичные результаты получила Г.А.Дубинина с сотрудника-

ми [14], которая при синтезе гидратированного диоксида марганца использовала упоминавшиеся выше виды микроорганизмов. В наших же многочисленных многовариантных экспериментах ни микроорганизмы, ни другие биоорганические вещества не использовались, что однозначно доказывает неорганическую природу образования $MnO_2 \cdot nH_2O$.

В связи с этим еще раз остановимся на так называемом биогенном механизме формирования рудных Mn-минералов ЖМО, вернее, его биогенной составляющей. Участвующая в этом процессе биота (различные виды организмов и микроорганизмов) выполняет две основные функции — окислительную и транспортную. При этом именно окислительная функция биоты в отсутствие или при явно недостаточной концентрации растворенного O_2 играет основополагающую роль в образовании Mn-фаз, что приводит к возрастанию скорости окисления катионов Mn^{2+} , с одной стороны, и к увеличению рудной массы, с другой.

Однако существует и иной аспект данной проблемы, который заключается в следующем. Во-первых, выделение биотой H_2O_2 , а затем его разложение с образованием производных (пероксогруппы, атомарного кислорода и O_2), участвующих в окислении катионов Mn^{2+} , представляет собой ряд последовательных реакций, которые протекают на расстоянии более 1 нм от самой биоты. Следовательно, биота в данном случае выступает как дополнительный источник кислорода, а механизм образования MnO_2 является химическим с привлечением биогенного кислорода.

Во-вторых, изучение внутреннего строения железомарганцевых отложений свидетельствует, что внешняя поверхность как остатков живых организмов (зубов акул, раковин моллюсков, косточек рыб и др.), так и микроорганизмов покрыта различными минералами марганца и железа. При осаждении они наследуют форму биоорганических веществ [17, 26], которые служат для них подложкой. Данные минералы на поверхности таких биоорганических подложек закрепляются весьма прочно, но граница между ними резкая, отчетливая. Удалить Mn-минералы с поверхности можно механическим или химическим воздействием. Следовательно, в данном случае биоорганическое вещество непосредственно не участвует в образовании рудных минералов марганца и железа.

Следующий механизм образования рудных Mn-минералов — *сорбционно-окислительный*, он характерен для любых типов железомарганцевых отложений и состоит из двух последовательных процессов. Взаимодействие растворенных катионов Mn^{2+} , которые находятся в придонном слое воды или поровом растворе осадков, с поверхностью Mn-минералов ЖМО сопровождается их адсорбцией. Поступление растворенного O_2 (абиогенного

или биогенного) в микрозону реакции и дальнейшего взаимодействия с Мп-минералами приводит к довольно интенсивному окислению сорбированных катионов $Mn^{2+}_{сорб}$ до Mn^{4+} . В результате увеличивается, с одной стороны, масса нано- и затем микро- и макроагрегатов (см. рис.3), а с другой — количество новых сорбционных центров на поверхности минералов. С учетом того, что катионы $Mn^{2+}_{сорб}$ находятся на ограниченной площади поверхности твердой фазы, процесс их окисления протекает значительно быстрее, чем в растворе. Данный механизм может повторяться бесконечное количество раз, если на поверхность первичных микрочастиц, ультрамикроагрегатов, микроагрегатов, макроагрегатов и даже растущей конкреции будут поступать новые порции O_2 и катионов Mn^{2+} . При недостаточной концентрации или отсутствии одного из компонентов системы данный процесс будет сначала замедляться, а потом прекращаться. Доказательством сказанному служат многочисленные слои и слои нерудного материала в конкрециях и корках, перекрывающие их рудные слои. Они свидетельствуют о прекращении отложения марганцевого материала в течение конкретного геологического времени.

Рассмотренные выше механизмы образования гидратированного диоксида марганца, с нашей точки зрения, — основополагающие. Вместе с тем в рудных минералах ЖМО содержатся ионы практически всех металлов Периодической таблицы Менделеева. Поэтому формирование химического

состава рудных Мп-минералов может протекать как параллельно, так и последовательно в процессах их непосредственного образования. С учетом особенностей океанской среды возможны только два механизма накопления ионов металлов минералами ЖМО — соосадительный и сорбционный. Как показали результаты исследований [22–25], в первоначальный момент времени образования гидратированного диоксида марганца одновременно с ним осуществляется соосадительный механизм накопления разных металлов. Однако он имеет, скорее всего, ограниченное действие: одновременное и постоянное нахождение большого количества катионов металлов в микрозоне образования гидратированного диоксида марганца маловероятно.

Сорбционный механизм начинает «работать» с момента поступления растворенного катиона металла к поверхности образовавшихся первичных микрочастиц, в которых уже формируется кристаллическая решетка минерала, и может продолжаться в течение всего роста железомарганцевого отложения до современного агрегатного состояния [21].

Взаимодействие как свежеполученных, так и океанских Мп-минералов с водными растворами солей металлов (в том числе приготовленных на океанской воде) приводит к изменению их химического состава, причем ионообменные реакции протекают по единым механизмам.

Из результатов обменных реакций следует, что катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и Mn^{2+} — типично обменные. Их доля в емкости рудных (и синтетических) Мп-минералов составляет $\approx 98\%$.

Несомненно, что к значимым механизмам образования океанских ЖМО следует отнести трансформацию Мп-минералов в процессе геологически длительного формирования этих отложений, имеющую вторичную природу. Установленные последовательные превращения рудных Мп-минералов [21] отражают общие закономерности эволюции слоистых, как правило, плохо упорядоченных минералов (вернадита, бузерита-I) в направлении образования минералов с хорошо упорядоченной структурой (тодорокита, пирролюзита, криптомелана) (рис.4). Такие трансформации осуществляются как за счет изменения физико-химических условий среды (состава и pH растворов, деятельности микроорганизмов), в которой залегают конкреции и корки, так и за счет твердофазовых превращений Мп-минералов под действием сорбированных катионов металлов.

* * *

Итак, результаты экспериментальных исследований напрямую доказывают принципиальную возможность образования рудных Мп-минералов в океане. Важнейшим итогом представляется по-

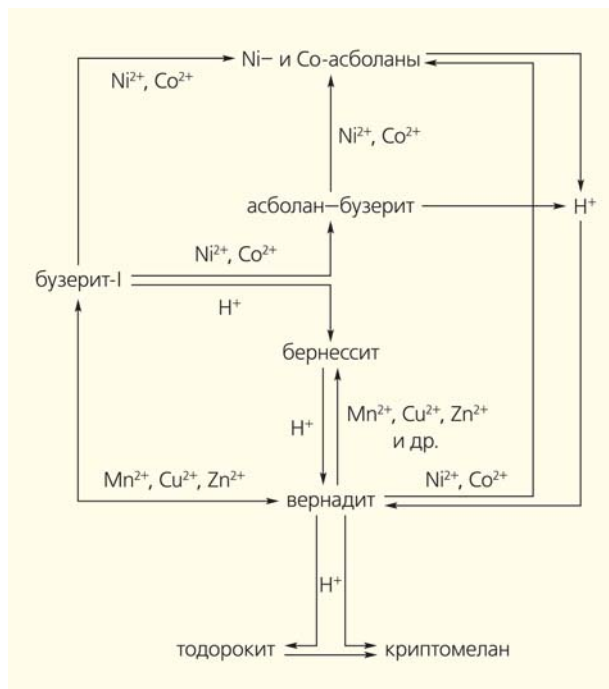


Рис.4. Схема структурных преобразований Мп-минералов океанских железомарганцевых отложений в водных растворах электролитов.

лучение слоистых, слабо окристаллизованных Мп-минералов с плохо упорядоченной структурой — аналогов рудных минералов океанских железомарганцевых отложений.

Все рассмотренные выше физико-химические процессы образования Мп-минералов протекают с высокими скоростями, тогда как скорости роста конкреций и корок оцениваются несколькими миллиметрами в миллион лет, а их возраст может достигать 60–65 млн лет [3–5, 27]. Анализ условий протекания железомарганцевого рудного процесса позволил выявить факторы, с наибольшей вероятностью влияющие на образование данных отложений.

Один из них — рассеянное состояние катионов Mn^{2+} (как и других ионов металлов при их концентрациях не больше $n \cdot 10^{-6}$ г/л) в океанской водной толще при высокой их химической устойчивости в растворенном состоянии.

Определяющий химический фактор, который влияет на образование и рост железомарганцевых отложений, — соотношение концентраций катионов Mn^{2+} и O_2 в микроне реакции.

Важнейшее влияние на протекание железомарганцевого рудного процесса оказывают гидродинамические условия, а именно скорость придонных течений. Другими словами, скорость поставки растворенных компонентов (катионов Mn^{2+} , Fe^{2+} и O_2) в микрону (не более 1 нм) реакции. Скорости придонных течений в пелагической области океана, где на горизонтальных поверхностях осадков локализуются седиментационные, седиментационно-диагенетические и диагенетические конкреции, составляют от 1 до 25 см/с [28]. У поверхности отдельных гайотов Магеллановых гор, на которых образуются и затем нарастают железомарганцевые корки и конкреции, скорости придонных течений изменяются от 5 до 40 см/с [4, 5]. По-видимому, даже при нижних пределах скоростей (1 и 5 см/с соответственно) полного осаждения гидратированного диоксида марганца не происходит. Содержание $Mn_{общ}$ во всех этих отложениях сравнительно невысокое — в среднем 18–20 масс. %.

Подтверждением сказанному служат результаты экспериментов по сорбции катионов тяжелых и редких металлов из многокомпонентных растворов, которые проводились при постоянном пропускании свежих порций растворов через колонки с конкрециями и корками [21]. Было установлено, что практически полное (до 100%) извлечение металлов наблюдается при скоростях движения растворов $(1.65–1.80) \cdot 10^{-3}$ см/с (колонки с конкрециями) и $(1.75–1.90) \cdot 10^{-3}$ см/с (колонки с корками). Из сопоставления этих значений видно, что скоро-

сти сорбции в экспериментах как минимум на три порядка меньше скоростей придонных течений. Следовательно, новообразованные Мп-фазы или Мп-минералы растущих конкреций и корок за крайне малое время взаимодействия с растворами извлекают очень незначительное количество катионов тяжелых и других металлов из пограничного к ним слоя придонной воды. Скорее всего, и осаждение марганцевых агрегатов из океанской воды на поверхность осадка или субстрата будет протекать со скоростями, близкими к указанным.

Образование и рост диагенетических конкреций (в которых содержание $Mn_{общ}$ составляет, как правило, более 25 масс. %) протекает в иных условиях. Методом ионного обмена было установлено, что катионы тяжелых металлов, в том числе и Mn^{2+} , в составе различных глинистых минералов осадков находятся в ионообменной форме [21]. Это способствует легкому их переходу в поровые воды, из которых они диффундируют через полужидкий активный слой осадков к нижней поверхности конкреций. Из-за отсутствия придонных течений в этом слое происходит концентрирование катионов Mn^{2+} . Дальнейшая их «судьба» может протекать по следующим равновероятным механизмам.

Первый из них ничем не отличается от описанного выше. Катионы Mn^{2+} окисляются абиогенным или биогенным O_2 . В результате образуются тонкодисперсные агрегаты гидратированного диоксида марганца. Их взаимодействие с нижней поверхностью уже растущих конкреций за счет коагуляции приводит к увеличению массы и размерности последних.

Если же образовавшиеся тонкодисперсные марганцевые агрегаты по какой-либо причине не достигают нижней поверхности конкреций, а захораниваются в разных слоях осадков, то это приводит к значительному ограничению взаимодействия с кислородом и, соответственно, к существенному уменьшению массы и размеров конкреций (возможно, что именно так образуются микроконкреции).

Таким образом, именно вышеперечисленные факторы, скорее всего, становятся решающими при рассмотрении вопроса о крайне медленном росте железомарганцевых отложений в различные геологические эпохи в глубоководной части Мирового океана. Вместе с тем совершенно однозначно можно утверждать, что такие физические параметры, как глубина океана (1000–6000 м), давление (100–600 атм), температура придонного слоя воды и поровой воды осадков (1.5–4°C), не оказывают влияния на образование и рост железомарганцевых отложений. ■

Литература / References

1. Безруков П.Л., Скорнякова Н.С., Мурдмаа И.О. Вопросы генезиса железомарганцевых конкреций. Железомарганцевые конкреции Тихого океана. М., 1976; 109: 241–249. [Bezrukov P.L., Skorniyakova N.S., Murdmaa I.O. Issues of the Genesis of iron-manganese nodules. Iron-manganese nodules of the Pacific ocean. Moscow, 1976; 109: 241–249. (In Russ.).]
2. Андреев С.И., Аникиеева Л.И. Образование железомарганцевых конкреций. Железомарганцевые конкреции Мирового океана. Ред. Ю.Б.Казмин. Л., 1984; 161–166. [Andreev S.I., Anikeeva L.I. The formation of ferromanganese nodules. Ferromanganese nodules of the oceans. Yu.B.Kazmin (ed.). Leningrad, 1984; 161–166. (In Russ.).]
3. Кронен Д. Подводные минеральные месторождения. М., 1982. [Cronen D. Underwater mineral deposits. Moscow, 1982. (In Russ.).]
4. Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.П. и др. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана. М., 1990. [Bogdanov Yu.A., Sorokhtin O.G., Zonenshayn L.P. et al. Iron-manganese crusts and nodules of the Pacific seamounts. Moscow, 1990. (In Russ.).]
5. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик, 2005. [Melnikov M.E. Deposits of cobalt-rich manganese crusts. Gelendzhik, 2005. (In Russ.).]
6. Glasby G.P. Manganese nodules in the South Pacific: a review. N.Z. J. Geol. Geophys. 1976; 19: 707–736.
7. Halbach P., Scherhag C., Hebisch V., Marchig V. Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules from the Pacific ocean. Miner. Deposita. 1981; 16: 59–84.
8. Bonatti E., Nayudu Y.R. The origin of manganese nodule on the ocean floor. Amer. J. Sci. 1965; 263(1): 17–39.
9. Varentsov I.M. On the leaching of manganese in the course of interaction of basic volcanic materials with sea water. Soc. Mining Geol. Japan, Spec. Issue. 1971; 3: 466–473. (Proc. IMA-IAGOD Meetings '70, IAGOD.)
10. Bostrom K., Peterson M.N.A., Joensuu O., Fisher D.E. Aluminum-poor ferromanganese sediments on active ocean ridges. J. Geophys. Res. 1969; 74: 3261–3270.
11. Corliss J.B. The origin of metal bearing submarine hydrothermal solutions. J. Geophys. Res. 1971; 76: 8128–8138.
12. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Муравьев К.Г. и др. Общие закономерности формирования гидротермальных образований. Гидротермальные образования Срединного хребта Атлантического океана. М., 1992; 172–189. [Bogdanov Yu.A., Lisitsyn A.P., Muravyev K.G. et al. General laws of the formation of hydrothermal formations. Hydrothermal formations of the Middle Ridge of the Atlantic Ocean. Moscow, 1992; 172–189. (In Russ.).]
13. Дубинина Г.А. Механизм окисления двухвалентного железа и марганца железобактериями, развивающимися при нейтральной кислотности среды. Микробиология. 1978; 47(4): 591–599. [Dubinina G.A. The mechanism of oxidation of ferrous iron and manganese by iron bacteria developing under neutral acidity of the medium. Microbiology. 1978; 47 (4): 591–599. (In Russ.).]
14. Дубинина Г.А., Григорьева Т.Н., Горшков А.И. и др. Биогенное образование асболан-бузерита и бузерита-I. Геология океанов и морей: Тез. докл. IX Всесоюз. шк. Морской геологии. 1990; 4: 144–145. [Dubinina G.A., Grigoryeva T.N., Gorshkov A.I. et al. Biogenic formation of asbolan-buserite and buserite-I. Geology of Oceans and Seas: Abstracts IX All-Union. School Marine Geology. 1990; 4: 144–145. (In Russ.).]
15. Ehrlich H.I. The formation of ores in the sedimentary environment of the deep-sea with microbial participation. The case for Fe and Mn concretions. Soil. Sci. 1975; 119(3): 36–41.
16. Diem D., Stumm W. Is dissolved Mn^{2+} being oxidized by O_2 in absence of Mn-bacteria or surface catalysts? Geochim. et Cosmochim. Acta. 1984; 48(7): 1571–1573.
17. Tebo B.M., Chiorse W.C., van Waasbergen L.G. et al. Bacterial-mediated mineral formation: insight into manganese (II) oxidation from molecular genetic and biochemical studies. Geomicrobiology: Interaction Between Microbes and Minerals. J.F.Banfield, K.H.Nelson (eds.). Washington, 1997; 225–266.
18. Богданова О.Ю., Горшков А.И., Новиков Г.В., Богданов Ю.А. Минеральный состав морфогенетических типов железомарганцевых рудных образований Мирового океана. Геология рудных образований. 2008; 50(6): 526–534. [Bogdanova O.Yu., Gorshkov A.I., Novikov G.V., Bogdanov Yu.A. Mineral composition of morphogenetic types of ferromanganese ore formations of the oceans. Geology of ore formations. 2008; 50(6): 526–534. (In Russ.).]
19. Bricker O.P. Some stability relation in the system $Mn-O-H_2O$ at 25°C and 1 atmosphere total pressure. Am. Mineral. 1965; 50: 1296–1354.
20. Yang D.S., Wang M.K. Syntheses and characterization of birnessite by oxidizing pyrochroite in alkaline condition. Clays and Clay Miner. 2002; 50: 63–69.
21. Новиков Г.В. Ионообменные свойства рудных минералов океанских железомарганцевых образований. Мировой океан. Т. III: Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане. М., 2018; 355–497. [Novikov G.V. Ion-exchange properties of ore minerals of oceanic ferromanganese formations. World Ocean. V.III: Solid minerals and gas hydrates in the ocean. Moscow, 2018; 355–497. (In Russ.).]
22. Морозов А.А., Новиков Г.В., Куликова Л.Н. Океанское низкотемпературное железомарганцевое минералообразование: вопросы формирования химического и минерального состава. Синтез и сорбционные свойства оксид-гидроксидных марганцевых фаз. Геохимия. 2001; 8: 845–861. [Morozov A.A., Novikov G.V., Kulikova L.N. Ocean low-temperature ferromanganese mineral formation: issues of the formation of chemical and mineral composition. Synthesis and sorption properties of oxide-hydroxide manganese phases. Geochemistry. 2001; 8: 845–861. (In Russ.).]

23. Новиков Г.В., Куликова Л.Н., Богданова О.Ю., Сычкова Г.И. Синтез и сорбционные свойства гидратированного диоксида марганца слоистой структуры, насыщенного катионами щелочных металлов. Неорганическая химия. 2005; 50(12): 1972–1980. [Novikov G.V., Kulikova L.N., Bogdanova O.Yu., Sychkova G.I. Synthesis and sorption properties of hydrated manganese dioxide of a layered structure saturated with alkali metal cations. Inorganic Chemistry. 2005; 50(12): 1972–1980. (In Russ.).]
24. Новиков Г.В., Куликова Л.Н., Богданова О.Ю. и др. Синтез и сорбционные свойства гидратированного диоксида марганца слоистой структуры, насыщенного катионами щелочноземельных металлов. Неорганическая химия. 2006; 51(2): 220–232. [Novikov G.V., Kulikova L.N., Bogdanova O.Yu. et al. Synthesis and sorption properties of hydrated manganese dioxide of a layered structure saturated with cations of alkaline earth metals. Inorganic Chemistry. 2006; 51(2): 220–232. (In Russ.).]
25. Новиков Г.В., Куликова Л.Н., Богданова О.Ю. и др. Синтез и сорбционные свойства гидратированного диоксида марганца слоистой структуры, насыщенного катионами *s*-, *p*- и *d*-элементов. Неорганическая химия. 2009; 54(2): 212–222. [Novikov G.V., Kulikova L.N., Bogdanova O.Yu. et al. Synthesis and sorption properties of hydrated manganese dioxide of a layered structure saturated with cations of *s*-, *p*- and *d*-elements. Inorganic Chemistry. 2009; 54(2): 212–222. (In Russ.).]
26. Богданова О.Ю., Демина Л.Л., Новиков Г.В., Сивцов А.В. Минералогия и геохимия низкотемпературных железистых образований гидротермальных полей Рейнбоу и Брокен Спур Срединно-Атлантического хребта. Разведка и охрана недр. 2012; (3): 25–30. [Bogdanova O.Yu., Demina L.L., Novikov G.V., Sivtsov A.V. Mineralogy and geochemistry of low-temperature glandular formations of hydrothermal fields Rainbow and Broken Spur of the Mid-Atlantic Ridge. Exploration and Protection of the Subsoil. 2012; (3): 25–30. (In Russ.).]
27. Halbach P., Puteanus D. The influence of the carbonate dissolution rate on the growth and composition of Co-rich ferromanganese crusts from Central Pacific seamount areas. Earth Planet Sci. Lett. 1984; 68: 73–87.
28. Батурин Г.Н., Демидова Т.А., Контарь Е.А., Курлаев Н.Д. Разработка железомарганцевых конкреций и взмучивание придонного слоя океана. Океанология. 1991; 31(4): 647–657. [Baturin G.N., Demidova T.A., Kontar E.A., Kurlaev N.D. Development of ferromanganese nodules and agitation of the bottom layer of the ocean. Oceanology. 1991; 31(4): 647–657. (In Russ.).]

Oceanic Ferromanganese Deposits: from Nanoparticles to Macro-Objects

G.V. Novikov

Shirshov Institute of Oceanology (Moscow, Russia)

The article analyzes the current hypotheses of the formation of oceanic ferromanganese deposits (FMD). However, none of the proposed hypotheses corresponds to the true processes of formation and further growth of these deposits; these hypotheses only indicate the source of the substance and the mechanism of its transportation to active surfaces for the formation and development of the ore component of FMD. Experimental physicochemical modeling results in obtaining the analogues of ore Mn-minerals: vernadite, buserite-I, burnessite, Ni-asbolan, and Co-asbolan. Vernadite prevails among them. Two fundamental mechanisms of the formation of Mn-minerals have been determined: oxidation-precipitation and sorption-oxidation. Both of them occur with high rates of chemical reactions. The mechanisms of the formation of the chemical composition of FMD have also been established. They are co-deposition and sorption. The first one has a limited action period, whereas the second can continue throughout the growth of FMD. A significant mechanism for the formation of oceanic FMD is the transformation of Mn-minerals into each other, which is of a secondary nature and proceeds with the participation of sorbed metal cations.

Keywords: ferromanganese deposits, ore minerals, formation mechanisms, synthesis, sorption, ion-exchange capacity.

Приморская Португалия: эколого-географические изменения ландшафтов

А.А.Лукашов¹, Т.Л.Смоктуневич²

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова (Москва, Россия)

²Московский педагогический государственный университет (Москва, Россия)



Природно-антропогенные изменения ландшафтов приморской Португалии происходят уже более 2000 лет. Переформирование устьевых участков крупных рек идет в условиях постоянной работы приливо-отливных течений, эпизодического воздействия цунами и сильнейших штормов, а также развития техногенной берегозащиты. Направленная трансформация крупных лагун в солеродные бассейны меняет стиль природопользования на отдельных отрезках побережья. Лесоразведение с массовой интродукцией эвкалиптов, изначально нацеленное на мелиорацию болотистых земель и на борьбу со склоновой эрозией, местами оборачивается обеднением биологического разнообразия среды и нарастанием пожароопасности.

Ключевые слова: прибрежные области Португалии, геоэкологическая трансформация ландшафтов, развитие речных эстуариев, соледобыча, проблемы лесопользования.



Андрей Александрович Лукашов, доктор географических наук, профессор кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — структурная, динамическая, поисковая геоморфология, сравнительная планетология, геоэкология.
e-mail: smoluk@yandex.ru



Татьяна Леонидовна Смоктунович, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и геоэкологии географического факультета Московского педагогического государственного университета. Научные интересы связаны с геоморфологией, физической географией, палеогеографией, географией культуры.
e-mail: smoluk@yandex.ru

Португалия лежит на западе Пиренейского п-ова, который с физико-географической точки зрения представляет собой часть субконтинента Средиземноморская Европа. Однако Португалия не совсем средиземноморская страна. Она омывается водами Атлантики, ее берега подвержены действию океанских приливов и отливов, отсутствующих в Средиземном море. Океан оказывает смягчающее влияние на климат, особенно в северной и центральной частях Португалии. Со странами Средиземноморья ее сближает активность тектонических процессов, в том числе сильные землетрясения. Как и во всех средиземноморских странах, в современной Португалии происходят природно-антропогенные изменения ландшафтов, начавшиеся еще в Античное время.

Геоэкологическая трансформация окружающей среды особенно заметна в прибрежных густонаселенных районах, в зоне контакта гидросферы и литосферы. Эти изменения — результат сочетания и взаимодействия тектонических, береговых, флювиальных, золотых, биогенных и антропогенных процессов. По сравнению с соседними территориями морские и речные берега — всегда наиболее динамичные области. В Португалии их нестабильность усиливается за счет сейсмических явлений.

Впадение р.Дору в Атлантический океан.
Выход из эстуария прикрыт молами.
Здесь и далее фото А.А.Лукашова



Западная Португалия.

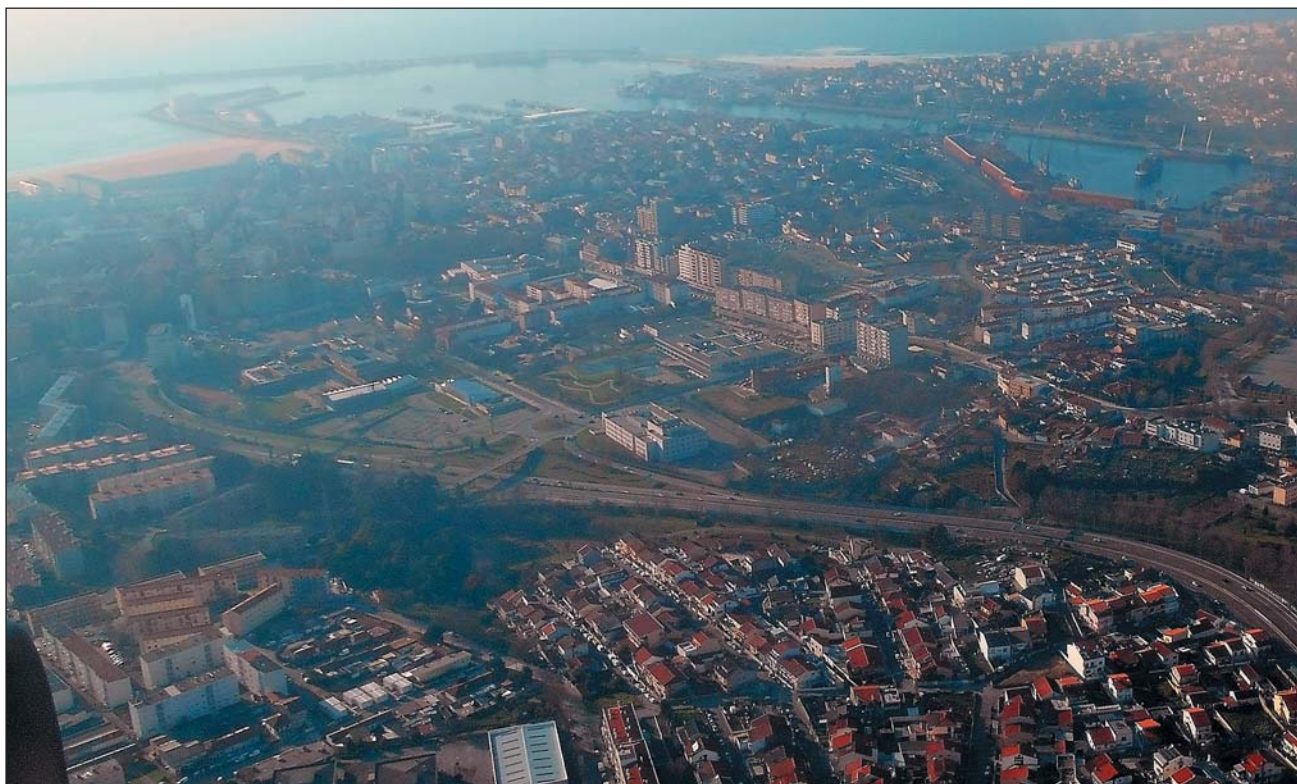
Берега северной и центральной частей Португалии представляют собой в плане относительно ровные линии. Эта особенность предопределена тектоническими разломами. Прерываются береговые линии только вблизи устьев рек. Постоянное воздействие морских приливов высотой в среднем 2–4 м привело к формированию здесь эстуариев — расширенных и переуглубленных течениями приустьевых участков. Эстуарии есть у большинства рек Португалии, но каждый из них имеет свои особенности. В зависимости от рельефа побережья, силы и частоты штормов, энергии речного потока развитие эстуариев идет по-разному и может изменяться из-за резкого вмешательства сейсмических событий. Соответственно, и сами эстуарии, и соседние с ними земли в Португалии используются по-разному. Рассмотрим некоторые особенности прибрежных территорий между городами Порту на севере и Сетубалом на юге.

Трансформация ландшафтов в устьях рек Дору и Мондегу

Самая многоводная река Португалии Дору (Дуэро) у г.Порту имеет классический воронкообразный эстуарий длиной до 2 км и шириной до 700–800 м. Перед эстуарием река, используя тектонически ослабленную субширотную зону, прорезает возвышенность, сложенную прочными метаморфическими породами. Дору формирует здесь V-образную долину-ущелье глубиной более 150 м, а русло ее сужается почти в два раза (по сравнению с обычной шириной в 200–250 м). Течение быстрое, практиче-



Ущелье р.Дору в восточной части г.Порту.

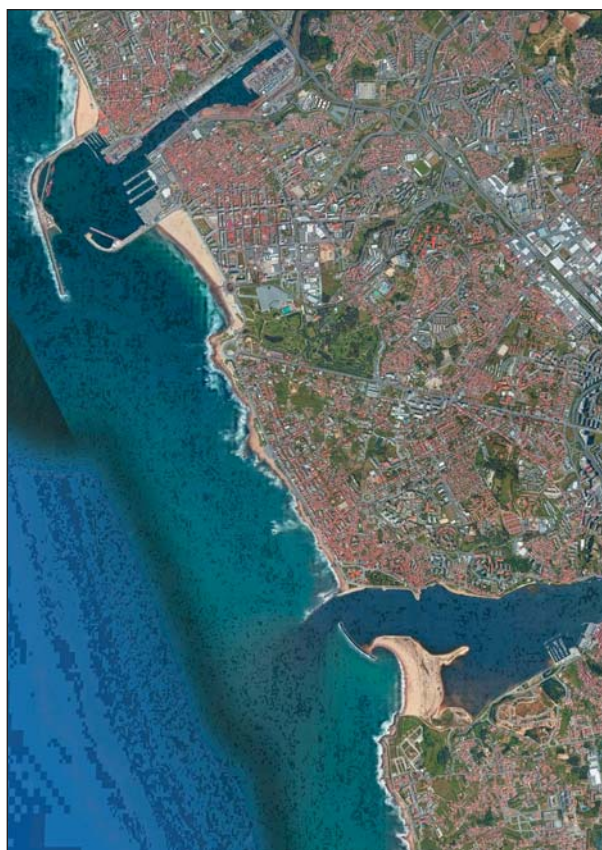


Порт Матозиньюш с искусственной гаванью, принявший, благодаря своей емкости и большим глубинам, основной поток грузов для г.Порту и всей северной части Португалии.

ски весь русловый аллювий выносятся из ущелья, ниже которого и начинается эстуарий.

В эстуарии сила водного потока и его транспортирующая способность постепенно падают, но масштабная аккумуляция осадков происходит только у внешнего края. Здесь, на дистальном окончании береговой косы, идет накопление аллювиальных и морских отложений, приносимых как волнами, идущими перпендикулярно к берегу, так и вдольбереговым потоком наносов южного направления. В результате, как это нередко бывает [1, 2], сформировался крупный приустьевой бар — полуостров длиной до 600 м и шириной около 400 м, приключившийся к левому берегу эстуария.

Нарощенный искусственным молом приустьевой бар молод, на мористой стороне при волнении происходит абразия, материал переносится ветром и волнами. С внутренней стороны полуострова пески начинают постепенно зарастать ивняком и злаками. В условиях слабого волнения образуются вторичные косы, из-за накопления аллювия растет зона мелководья. Молы на пути вдольбереговых потоков наносов огораживают вход в эстуарий. Его акватория пока остается достаточно глубокой. Но приустьевые бары при входе в эстуарий неизбежно растут, и это, очевидно, стало одной из причин постройки в устье небольшой реки Лесы у северной окраины г.Порту нового порта Матозиньюш с искусственной гаванью.



Устье р.Дору в г.Порту и построенный севернее порт Матозиньюш в устье р.Лесы (комический снимок Google Earth).



Устье р. Мондегу на комическом снимке (Google Earth).

Если быстрое течение Дору приводит к накоплению аллювия непосредственно у береговой линии океана, то реки со слабым течением, пересекающие в низовьях приморские низменности, начинают откладывать аллювий уже перед входом в эстуарий. В самом заливе встречная энергия приливных волн превышает энергию речного потока. Такое происходит в устье еще одной португальской реки — Мондегу. Она впадает в океан примерно на полпути между реками Дору и Тежу (Тахо), между городами Порту и Лиссабоном, на ее берегах стоит известный университетский город Коимбра. Эстуарий Мондегу очень мал, а перед ним в устье реки располагается крупный (2×3 км) низкий аллюви-

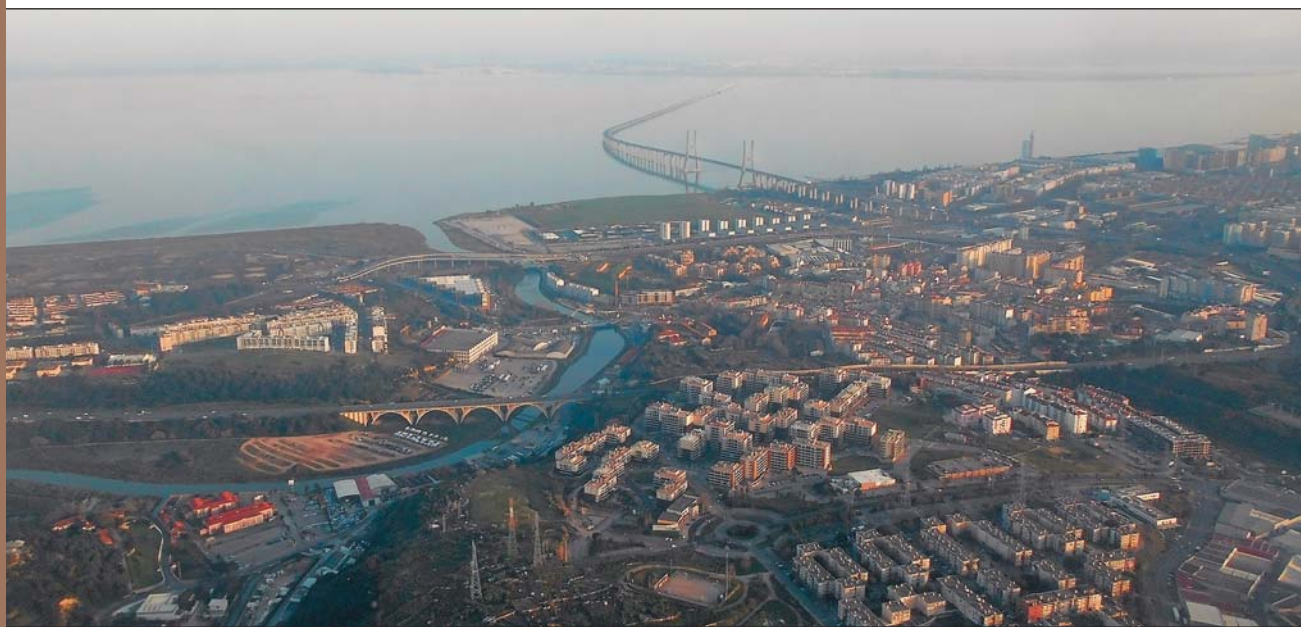
альный остров, распаханнный под огороды. Остров окружен протоками, которые сливаются в единое русло лишь перед впадением в океан. Соответственно, днище долины Мондегу заметно расширяется перед устьем, а затем сильно сужается.

Геоэкологическая обстановка в устье реки Тежу

К району впадения в океан Тежу — самой длинной реки на территории Португалии — тяготеют устья еще двух рек — Саморы (Санту Эштеван) и Транкана. Схождение в единый фокус нескольких устьев указывает на существовании здесь зоны ло-

кального тектонического опускания. Течение рек в подобных обстановках всегда ослабляется, идет аккумуляция материала. Действительно, до середины XVIII в. в кутовой части эстуария и на приустьевых участках Тежу (а также в устье находящейся южнее реки Саду) существовали крупные аллювиальные острова. Сегодня островов уже нет, а Тежу выше собственно эстуария заканчивается крупным заливом неправильной формы (18×12 км). На его берегах стоит Лиссабон.

В 1755 г. город подвергся катастрофическому землетрясению. Его эпицентр находился на дне Атлантического океана между побережьем Пиренейского п-ова и архипелагом Мадейра [3]. Через

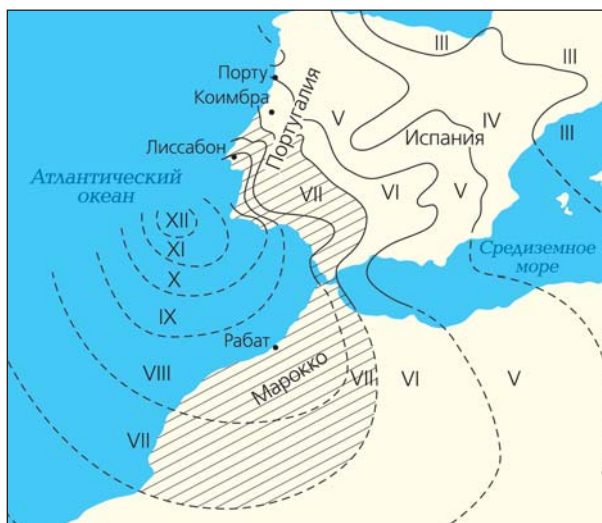


Мар-де-Палья — приустьевой бассейн р. Тежу в восточной части Лиссабона. Семнадцатикилометровый мост Васко да Гама, построенный в 1988 г., — один из крупнейших в Европе.

несколько минут после землетрясения на город обрушилось цунами. Волна прокатилась по эстуарии вглубь долины Тежу, разрушив и затопив острова. Во время землетрясения рухнула и ушла под воду набережная Лиссабона.

Вода затопила днища эрозионных форм на южном берегу залива, там образовались глубокие бухты риасового типа, что сопровождалось крупными геоэкологическими изменениями. На месте островов появился современный обширный мелководный водоем, который португальцы теперь называют Мар-де-Палья («соломенное море»). Он заполнен преимущественно речными водами, хотя волны высоких приливов регулярно проникают в акваторию залива. Вся эта территория испытывала нисходящие неотектонические движения, которые могли усилиться во время землетрясения. Опускание продолжается и в настоящее время.

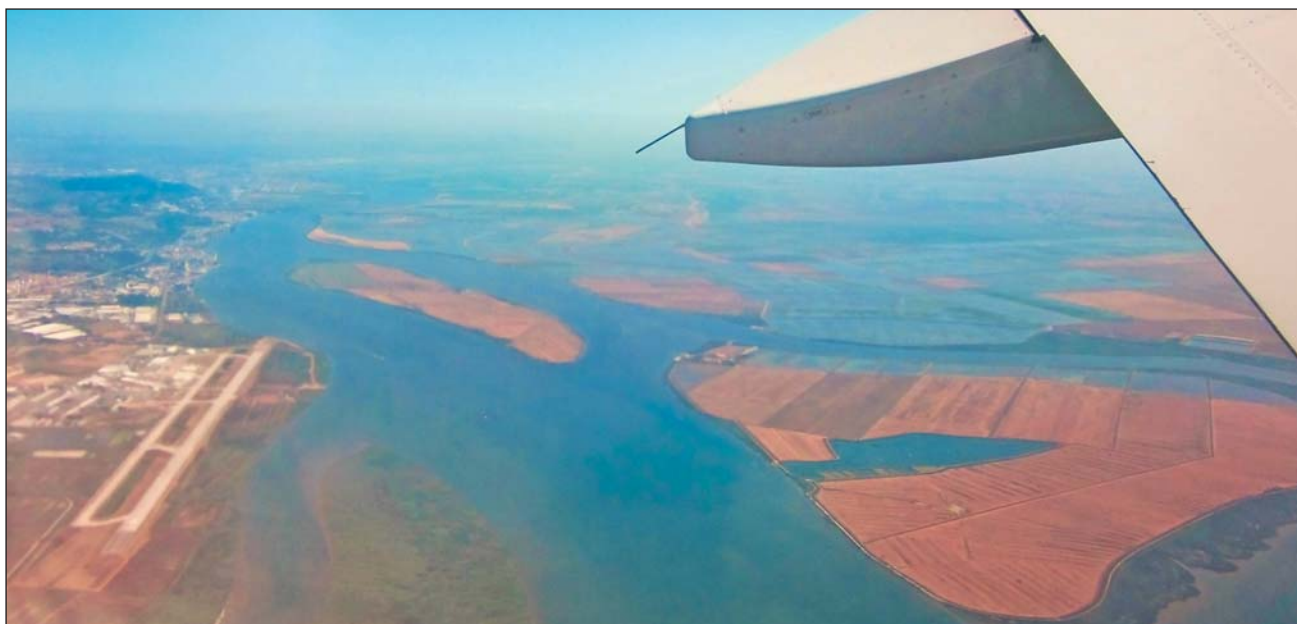
Низменные берега залива заболочены. В его южной части, среди водно-болотных угодий, для птиц создан природный резерват «Эстуариу-ду-Тежу». Мар-де-Палья заканчивается сравнительно узкой речной протокой, а затем собственно эстуарием длиной около 5 км и шириной до 4 км, в котором уже преобладают морские воды. Эстуарий не имеет, в отличие от р.Дору, видимого приустьевого бара-полуострова, хотя у южного мористого края формируется подводная аккумулятивная форма длиной около 2–2.5 км. Тем не менее вход в эстуарий Тежу и северная часть его акватории остаются доступными для морских судов. Накопление аллювия идет на дне Мар-де-Палья — в основном в его дальнем от моря конце (там растут аллювиальные острова).



Цунамигенное Лиссабонское землетрясение 1755 г. [1]. Цифрами показана интенсивность по 12-балльной шкале Меркалли, штриховкой — районы с силой толчков 7 баллов и выше.

Трансформация ландшафтов лагуны Сетубал

В устье р.Саду в зоне локального погружения располагается ингрессионный залив неправильной формы. На его берегу еще в Античное время возник город-порт Сетубал. Это территория сильных землетрясений. Первый раз город был полностью разрушен еще в V в., второй раз — во время Лиссабонского землетрясения 1755 г. Длина залива, в целом вытянутого вдоль берега, около 25 км. Берега низменные, частично заболоченные. Они заняты природным резерватом для водоплавающих



Аккумуляция речных наносов в вершине залива Мар-де-Палья к северо-востоку от Лиссабона. В отличие от остальной акватории, только здесь, вдали от моря, растут аллювиальные острова.



Берега лагуны Трои, где создан орнитологический резерват.

птиц и частично посадками риса (как раз в устье Саду начинается Южная Португалия, ее жаркий сухой климат [4] позволяет выращивать рис на заболоченных участках).

Приливно-отливные течения и вдольбереговой поток наносов при взаимодействии с наносами небольшой реки Саду привели к формирова-

нию крупной аккумулятивной формы, вытянутой вдоль берега и отделяющей залив Сетубал от океана. Из письменных хроник известно, что в раннем Средневековье здесь был приустьевой баростров. Затем его южный конец причленился к берегу, образовав п-ов Троя длиной около 15 км и шириной от 0.6 до 1 км.



Поросшие соснами дюны в северной части п-ова Троя.



Курортное строительство близ северного окончания п-ова Троя.

В отличие от остальных берегов Португалии, п-ов Троя растет и выдвигается в сторону океана. Это происходит благодаря тому, что от господствующих северо-западных атлантических ветров и разрушительного волнового воздействия Тройю прикрывает гористый полуостров, заканчивающийся мысом Эшпишел.

Береговая линия Трои со стороны моря ровная, а со стороны лагуны — нечеткая с заливами, заболоченными мелководьями и озерками. Приморские дюны, частично поросшие соснами, придали Трое здоровый микроклимат и живописность. На аккумулятивных берегах полуострова раскинулись огромные пляжи. Создались благоприятные условия для строительства здесь крупных рекреационных систем [5]. Некогда пустынный полуостров сегодня постепенно превращается в курорт.

Соляные работы в Авейру

Изменения приустьевых участков португальских рек всегда существенно влияли на жизнь людей и условия хозяйствования на берегах: затопливались части долин, исчезали и возникали острова, заболачивались или уходили под воду берега, росли песчаные косы-полуострова, менялись глубины эстуариев. Одни из самых значимых изменений произошли в устьях небольших рек Бору и Боко, впадавших в Атлантический океан в 60 км южнее устья Дору, недалеко от небольшого города Авейру. Поселение на приморской низменности, известное еще с Античных времен, в начале

2-го тысячелетия стало крупным портовым городом рыбаков. Соль для засолки рыбы добывали, выпаривая ее из морской воды. В X в. благодаря такому промыслу Авейру стал богатейшим городом королевства.

Но вскоре в благополучную жизнь города вмешалась природа. Более чем на 100 км вдоль берега здесь тянется полоса пляжей. Песчаная гряда прерывалась лишь в одном месте — у речного устья в Авейру. Зимой 1575 г. в этом районе бушевали сильнейшие штормы. В устье скопились огромные массы песка, пересыпь сомкнулась, и выход в море оказался заблокирован. За песчаной плотиной возник бассейн со стоячей водой. Она поступала сюда из небольших рек и проток и не находила прямого выхода к морю. Мелководный бассейн разлился более чем на 30 км. Начались заболачивание, цветение воды, размножение болезнетворных микроорганизмов, малярийных комаров. Лагуна Авейру — самая обширная на побережье Португалии — заполнилась болотистыми островками [2]. Авейру лишился морского порта. Не было работы, начались болезни и смерти. Вскоре город опустел. Так жизнь людей коренным образом изменилась даже не после катастрофического землетрясения, а из-за геоэкологических изменений — штормов, пусть редких по силе, но естественных для океанских берегов. Такие изменения стали возможны из-за особенностей строения береговой зоны, включающей широкую и длинную прямолинейную полосу пляжей, а также из-за слабого течения рек на приморской низменности.



Мелководная лагуна и г.Авейру на космическом снимке (Google Earth).

В начале XIX в. через зону пляжа прорыли канал и восстановили речной сток в море. Озеровидный бассейн остался, но сделался полупроточным: застойный характер вод сохранился только в отдаленных частях акватории. В самой лагуне выросли острова. Начиная с XIX в. на заболоченной низменности возле лагуны стали сажать австралийские эвкалипты. Они как насосы выкачивают корнями воду и способствуют уничтожению болот. Предпринятые меры привели к оздоровлению кли-

мата и (до некоторой степени) к возрождению города. Основными занятиями вновь поселившихся в Авейру жителей стал сбор с лодок «миштра» — водорослей, которые шли на удобрение полей. Водоросли собирали в лагунах и перевозили на лодках «молисейруш».

Продолжалась в Авейру и добыча высококачественной соли. Ее использовал рыболовный флот Португалии для сохранения пойманной у берегов Ньюфаундленда рыбы, а также для приготовления бакаля — сушеной соленой трески. Выпаривание соли в огороженных земляными валами бассейнах сделало Авейру «национальной солонкой».

Пять солеродных групп общей площадью 2600 га протянулись 18-километровой полосой между городами Эштарежа и Ильяву.

В пределах южной группы создан экологический музей «Марина да Транкальхада», где на территории 36 500 м² природа и человек взаимодействуют, создавая уникальные продуктивные ландшафты. Соляные разработки (salinas) «Марина» в Авейру состоят из комплекса проточных резервуаров, сгруппированных в три серии: хранилища (comedorias), испарители (mandamento) и емкости кристаллизации (meios). Резервуары ограждены дамбами из глинистого материала. Во время весенних при-



Дамба, ограничивающая со стороны лагуны серию проточных солеродных резервуаров в г.Авейру.

ливов «Марина» принимает морскую воду из лагуны по одному из каналов. Из наиболее высокого бассейна вода проходит самоотекотом через серию резервуаров. В конечном из них высококонцентрированный раствор (рапá) кристаллизуется, осаждая соль. Бассейны различны по размерам и сообщаются через малые шлюзы. По мере фильтрации и испарения осуществляется фракционный галогенез нескольких типов. На финальной стадии получается «ремесленная соль» (NaCl), собираемая местными соледобытчиками (marnotos).

На рубеже 2-го и 3-го тысячелетий при сохранении тех же или похожих геоэкологических условий занятия жителей изменились. Углубление морского канала-фарватера позволило воссоздать порт. Развивается туризм. Соляные бассейны и каналы, прорытые в городе для дренажа, используются для туристических аттракций.

Город иногда называют Португальской Венецией, туристов стали катать на лодках и продавать им «соль из Авейру» как сувенир. Сбор водорослей сменился выращиванием моллюсков. Но, к сожалению, сточные воды из города, порта и с окрестных полей периодически настолько загрязняют лагуну, что на продажу моллюсков накладывается запрет.

Аккумулятивные песчаные гряды, вытянутые на десятки километров и отделяющие лагуну Авейру от океана, еще слабо освоены. Но именно это и привлекает туристов. Здесь созданы природные резерваты с дюнными ландшафтами, сосновыми рощами, широкими пляжами, полями для гольфа. Стоящие из кос, пересыпей и пляжей аккумулятивные берега служат великолепной основой для организации так называемых контактных рекреационно-геоморфологических систем — мест отдыха, где окружающий ландшафт и особенно рельеф обладают особой привлекательностью для человека [5].

Проблемы лесного хозяйства

По приказу португальских королей первые сосны для закрепления береговых дюн стали высаживать еще в конце XIII в. Тем не менее в Португалии, как и во всем Средиземноморье, всегда вырубалось деревьев больше, чем высаживалось. К XIX в. от былых лесов в стране остались только участки вокруг королевских и придворных резиденций и монастырей. В этих заповедных лесах сохранились лавровые деревья, в доисторическом про-



Майоликовое панно в г.Авейру, иллюстрирующее процесс соледобычи.

шлом покрывавшие значительную часть Южной Европы. В историческое время главными деревьями Португалии были сосны и дубы — листопадные на севере и вечнозеленые на юге. И те и другие обладают ценной древесиной и даже корой, как, например, пробковый дуб.



Статуя сборщика соли (marnoto) в г.Авейру. На заднем плане — туристические лодки «молисейруш».

Бывшие лесные земли были распаханы или стали пастбищами. На оголенных склонах активизировалась эрозия, а на плоских равнинах началось заболачивание.

В эпоху Великих географических открытий португальские мореплаватели привозили семена и саженцы экзотических растений для королевских садов и парков. В них появились пальмы, эвкалипты, араукарии, секвойи, древовидные папоротники, которые когда-то росли и в Южной Европе. Климат Португалии, особенно в ее северной половине, благоприятен для большинства перечисленных деревьев. Средняя температура января в Порту — 10°C, июля — 20°C, за год выпадает около 1200 мм осадков, основная их часть — в прохладное время года. В Лиссабоне количество осадков снижается до 700 мм/год (летом их тоже мало), средние июльские температуры вырастают до 23°C [3]. В таких условиях привезенные деревья успешно приживались. Сегодня в сохранившихся лесах Буссако в центральной части Португалии и в лесах Синтры возле Лиссабона можно встретить представителей флоры Южной Африки, Южной и Северной Америки, Австралии, Юго-Восточной Азии. В португальских лесах удивительным образом сочетаются сосны, дубы и экзотические виды деревьев в первом ярусе с густыми зарослями лавров высотой 10–15 м во втором. Площадь таких лесов невелика, но они развиваются естественным образом и считаются уникальными для Европы.

Уникальны также и леса из эвкалиптов, ставшие привычным элементом ландшафта. Благодаря им Португалия считается самой лесистой страной Южной Европы: леса занимают около 35% ее пло-



Субтропические леса Буссако близ г.Коимбры со смесью коренных древесных видов и интродуцентов.

щади. Впервые большое количество эвкалиптов — около 35 тыс. деревьев — посадили в окрестностях г.Коимбры в начале XIX в. Сделано это было для предотвращения эрозии на склонах и для ликвидации болот и малярийных комаров на заболоченных приморских низменностях. Опыт оказался удачным, корни эвкалиптов вытягивали воду (до 200–300 л за сутки), в среднем через десятилетие болото — рассадник малярии — исчезало. Кроме того, считается, что микроклимат эвкалиптового леса способен оздоравливать организм человека.

Настоящий «эвкалиптовый бум» начался в 70-х годах XX в. после свержения диктатуры Салазара. Тогда большие массивы земли были поделены между мелкими владельцами. Быстро выяснилось, что выгоднее всего можно использовать участок, пусть даже совсем маленький, если засадить его эвкалиптами. В первые 10 лет жизни они могут подрастать на 2–3 м в год и давать промышленную древесину для целлюлозно-бумажной промышленности, ставшей одной из основных отраслей экономики Португалии. Получение скороспелой древесины приносило быстрый и легкий доход — по сравнению с доходами от сельского хозяйства. Вскоре голые склоны холмов и горных отрогов покрылись густыми плантациями эвкалиптов, в основном — эвкалипта шаровидного, или голубого (*Eucalyptus globulus*).

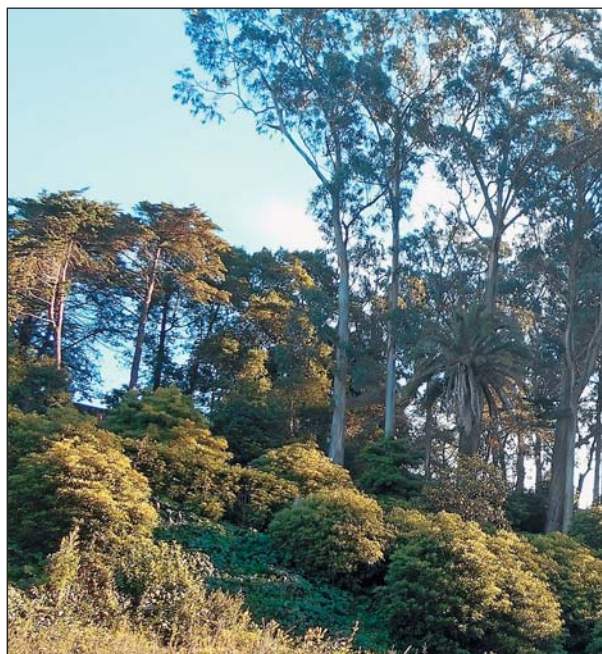
На месте срубленных деревьев сажали новые. Эрозия сократилась, но качество земли ухудшилось из-за усиленного потребления деревьями гумуса и минеральных соединений из почвы. Эвкалипты понижали уровень грунтовых вод, что было хорошо на болотах, но весьма плохо на сухих склонах. В густых порослях эвкалиптов не вили гнезда местные птицы, их избегали многие насекомые. Эвкалиптовые леса оставались психологически чуждыми для местных жителей. Это, впрочем, не мешало людям сажать их все больше и больше. Португалия стала лесной «маленькой Австралией» и получила проблемы, характерные для «зеленого континента». Одна из них — пожары. В сухом жарком климате они случались каждый год, но летом 2017 г. стали национальным бедствием. Десятки (!) людей оказывались в огненных ловушках и сгорали заживо, чаще всего в машинах, двигавшихся по шоссе через горящие эвкалиптовые леса. В результате с весны 2018 г. посадки эвкалиптов были запрещены законом (он вызвал как одобрение, так и протесты населения).

* * *

Таким образом, прибрежные районы северной и центральной областей Португалии — наиболее населенные части страны — за историческое время заметно изменились. На берегах, на приустьевых территориях причиной перемен в большей степени

стали природные факторы. Число жертв землетрясения 1755 г. возросло из-за цунами. Угрозой для жизни и благополучия людей в Авейру стали последствия аккумуляции пляжевых наносов, заблокировавших сток реки. Заболачивание берегов приустьевых заливов приводило к потере сельскохозяйственных земель (на берегах Мар-де-Палья и Сетубальского залива). Из-за аккумуляции наносов и роста приустьевых баров в устье Дору людям пришлось строить новый порт. Напротив, аккумуляция наносов у Сетубала и формирование п-ова Троя в XXI в. оказали положительный эффект. Полуостров не стал препятствием для входа кораблей в залив и в то же время оказался удобным изолированным курортным районом. Возможно, курортом станет в будущем и полуостров в устье Дору.

Полностью антропогенными стали изменения растительного покрова. Посадки монокультуры эвкалипта имели как положительные (осушение болот, сокращение эрозии), так и отрицательные (обеднение земель) и даже катастрофические (пожары) последствия. Если запрет на новые насаждения эвкалипта продолжит действовать, а часть деревьев будет вырублена для промышленных нужд, то, возможно, лучшим решением — экологическим, а через какое-то время и экономическим, станет посадка сосен на месте срубленных «австралийцев». Сосны естественны для побережья.



Эвкалипты в курортном районе Синтра к западу от Лиссабона.

Португалия — спокойная страна с мягким климатом. Сюда с удовольствием приезжают туристы. Они находят здесь наилучшие условия для отдыха, а местные жители получают надежный источник постоянного дохода.■

Работа выполнена в рамках госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования» (Г-3).

Литература / References

1. Anderson R.S., Anderson S.P. *Geomorphology, the Mechanics and Chemistry of Landscapes*. Cambridge; N.Y., 2010.
2. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. *Природа мира: Берега*. М., 1991. [Kaplin P.A., Leontyev O.K. *Lukyanova S.A., Nikiforov L.G. World's Nature: Sea Coasts*. Moscow, 1991. (In Russ.).]
3. Kozak J.T., Moreira V.S., Oldroud D.R. *Iconography of the 1755 Lisbon Earthquake*. Prague, 2005.
4. Физико-географический атлас мира. М., 1964. [Physico-Geographical Atlas of the World. Moscow, 1964. (In Russ.).]
5. Бредихин А.В. *Рекреационно-геоморфологические системы*. М.; Смоленск, 2010. [Bredikhin A.V. *Recreational and Geomorphic Systems*. Moscow; Smolensk, 2010. (In Russ.).]

Environmental Transformation of the Coastal Portugal

A.A.Lukashov¹, T.L.Smoktunovich²

¹Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

²Moscow Pedagogical State University (Moscow, Russia)

Coastal Portugal experiences combined impact of natural and human-induced environmental changes over more than 2000 years. Development of the large rivers mouths is controlled by an interaction of tidal currents, high-magnitude low-frequency events such as tsunamis or extreme storms, and, more recently, introduction of coastal protection constructions. Directed transformation of large lagoons into salt basins dramatically changes land use patterns at certain coastal section. Forestry with massive introduction of eucalyptus trees initially aimed to melioration of waterlogged areas and protection from hillslope erosion can cause some opposite negative effects such as decrease of biological variability and increased fire hazard.

Keywords: Portugal coastal regions, geoecological landscape transformation, development of river estuaries, salt exploration, forestry problems.

Покровная толща карстовых массивов: изучение в целях карстологического прогноза

Е.В.Дробинина^{1,2}, В.Н.Катаев¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия)

²Пермский филиал ООО «Противокарстовая и береговая защита» (Дзержинск Нижегородской обл., Россия)

Проведенные исследования в теоретическом плане направлены на развитие системного подхода к изучению карстовых массивов — геологических тел, которые обладают конкретной структурой (набором элементов и их взаимодействием). Толща покровов над растворимыми породами, как структурный элемент карстового массива, реагирует на возникновение и изменения параметров «элементов ослабления» в карстующейся толще. В качестве элементов ослабления рассмотрены карстовые полости, зоны дробления и дезинтеграции в коренных растворимых породах. Установлено, что наиболее отчетливо свойства перекрывающей толщи изменяются над полостями, достигшими критических поперечных размеров, при которых нарушается равновесие между удерживающими и сдвигающими силами и происходит обрушение свода полости. Индикатором наличия карстовых полостей, размер которых не достигает критического, служат участки покровов с аномальными значениями физико-механических свойств. Последние пространственно коррелируют с участками изменения напряженно-деформированного состояния в карстующемся пласте вблизи карстовой полости и над ней. На конкретном примере показано, как влияет карстовая полость (до момента достижения ею критического пролета) на свойства покровной толщи.

Ключевые слова: карстовый массив, перекрывающая толща, физико-механические свойства, карстологический прогноз, элементы ослабления, компьютерное моделирование.

В нормативных документах по инженерно-геологическим изысканиям* выделяются два типа карста: открытый — карстующиеся (растворимые) породы выходят на поверхность или покрыты лишь почвенно-растительным слоем, покрытый — карстующиеся породы покрыты сверху некарстующимися (нерастворимыми) отложениями.

* См., например: СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч.1. Общие правила производства работ. Дата введения 1998-03-01. С.17; Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. ТСН 22-308-98 НН. Нижний Новгород, 1998. С.3.



Елена Викторовна Дробинина, инженер научно-производственной лаборатории прогнозного моделирования в геосистемах Пермского государственного национального исследовательского университета, инженер-геолог Пермского филиала ООО «Противокарстовая и береговая защита». Область научных интересов — геология, инженерная геология, карстогенез.
e-mail: alenadrobina@yandex.ru



Валерий Николаевич Катаев, доктор геолого-минералогических наук, профессор, декан геологического факультета, заведующий кафедрой динамической геологии и гидрогеологии, научный руководитель той же лаборатории того же университета. Область научных интересов — геология, гидрогеология, карстогенез, структурно-тектонический анализ карстовых массивов, динамические процессы в геологии.
e-mail: kataev@psu.ru

Г.Н. и В.Н.Дублянские, создавая карты распространения карста на территории СССР и карты карстовой опасности на территории России, предложили выделять для инженерно-геологических целей четыре основных и один дополнительный типы карста: открытый, когда карстующиеся породы выходят на поверхность или покрыты осадочными несцементированными отложениями мощностью до 2 м; покрытый — карстующиеся породы покрыты осадочными несцементированными отложениями мощностью более 2 м; перекрытый — карстующиеся породы перекрыты сцементированными осадочными, магматическими или метаморфическими породами различной мощности; перекрыто-покрытый — карстующиеся породы перекрыты осадочными несцементированными и осадочными сцементированными, магматическими или метаморфическими породами различной мощности; смешанный — распространенный в долинах рек с чередованием участков развития карста разных типов [1].

Площадь регионов, в геологическом строении которых участвуют карстующиеся породы различного возраста (от архей-протерозойских до неогеновых) в пределах Российской Федерации суммарно занимает более 66%. При этом 85.6% из них приходится на покрытый и перекрыто-покрытый типы карста [2, 3].

Теория изучения сложных геологических систем, к которым, несомненно, относится карстовый массив, свидетельствует о том, что природная (а тем более природно-техническая) система, не может быть проанализирована простыми аналитическими методами, а именно расчленением целого на части и их раздельным изучением. Исследование динамики карстового массива и прогнозирование его поведения необходимо вести с учетом целостности этого сложного объекта.

Системный подход при анализе карстового массива предусматривает решение триединой задачи:

- изучение массива как объемной разнородной структурно-тектонической системы, которая характеризуется геодинамическими процессами, имеющими не только природные, но и техногенные причины возникновения и развития;
- создание концептуальных моделей по взаимодействию элементов массива (от микро- до макроуровня), отражающих реальное развитие процессов в различных геоструктурных обстановках;
- создание системы по прогнозу интенсивности и направленности карстового и сопутствующих ему процессов.

Иными словами, системный подход к изучению карста предполагает учет природных и техногенных изменений на различных иерархических уровнях всего комплекса структурных элементов. Именно по этой причине исследование перекрыва-

ющей толщи как элемента карстового массива, которая характеризуется определенным набором структурно-тектонических, геологических и гидрогеологических особенностей, требует знаний о взаимоотношении между ее составными элементами. Данные работы становятся особенно актуальными, когда решаются вопросы прогнозирования образования провалов в условиях покрытого или перекрыто-покрытого карста, т.е. в условиях недостатка или отсутствия сведений о поверхностных проявлениях карста, таких как локальные оседания или воронки [4].

Проблемам строения грунтовых покровов в пределах карстовых массивов и их влиянию на проявления карста провального типа посвящены многочисленные публикации как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе. В большинстве из них описывается типизация строения толщи покровов или влияние их мощности на интенсивность образования карста [1, 5–7].

Вместе с тем вопрос о пространственно-временной связи особенностей покровных отложений и ослабленных структур (полостей, зон дробления или системных трещин) в карстующейся толще, особенно в ее прикровельной части, не получил окончательного ответа. Сегодня в инженерном карстоведении применяются геомеханические модели основных генетических типов провалов. В таких моделях среди параметров, входящих в расчетные схемы, используются данные о прочностных свойствах грунтов и их природной плотности, фильтрационные характеристики слоев грунтовой толщи и др. Применяя данные схемы, исследователь имеет возможность устанавливать линейные размеры карстовых деформаций (диаметры провалов, предельные радиусы полостей). Анализируя строение грунтовой толщи и обводненности покровов, в которых возникают различные генетические типы провалов, при инженерно-геологических изысканиях можно выявить ранние признаки их образования [8–11]. Более того, на сегодняшний день проработаны и верифицированы на конкретных геологических объектах различные методические приемы прогнозирования пространственной взаимосвязи между ослабленными зонами в карстующейся толще и участками в покровных отложениях с аномальным изменением физикомеханических свойств. Например, методика оценки карстоопасности, предлагаемая В.С.Крашениниковым, основана на выявлении ранних признаков формирования карстовых провалов [12, 13]. Установление ранних признаков производится при комплексном анализе результатов палеогеоморфологических исследований (выявление погребенных карстовых форм), оценки степени суффозионности грунтов и статического зондирования (установление аномальных по плотности зон).

Мы изучали изменение свойств покровных грунтов над полостями, зонами дробления и вблизи провалов в регионах развития сульфатно-карбонатного карста в Пермском крае. Нами применялся массовый статистический анализ данных по распространению карстовых форм, геолого-гидрогеологическому, инженерно-геологическому строению исследуемых участков (по материалам бурения), а также по свойствам грунтов и карстующихся пород [14, 15].

В результате проведенных исследований были установлены принципиальные статистические распределения и зависимости между деформационно-прочностными свойствами дисперсных грунтов покровной толщи и развитием карста на данной территории. Сейчас очевидно, что наличие карстовых полостей и зон дробления на контакте с нерастворимыми перекрывающими отложениями или в толще растворимых пород обуславливает локальные изменения прочностных свойств покровов.

Перекрывающая толща — структурный элемент карстового массива

Карстологическое прогнозирование должно сопровождаться определением условных границ, внутри которых проводятся необходимые исследования и которые, как правило, зависят от цели прогнозных мероприятий.

Так, на локальном уровне в структуре карстового массива можно ограничиться выделением трех взаимовлияющих элементов: перекрывающей толщи, карстующихся пород (как среды развития элементов ослабления карстового массива) и непосредственно элементов ослабления, которые изменяют естественное напряженно-деформационное состояние вмещающих грунтов (вплоть до образования необратимых деформаций выше по разрезу).

Понятие «элементы ослабления карстового массива» введено в инженерном карстоведении довольно давно. Под ними понимаются зоны с высокой плотностью системных трещин, области

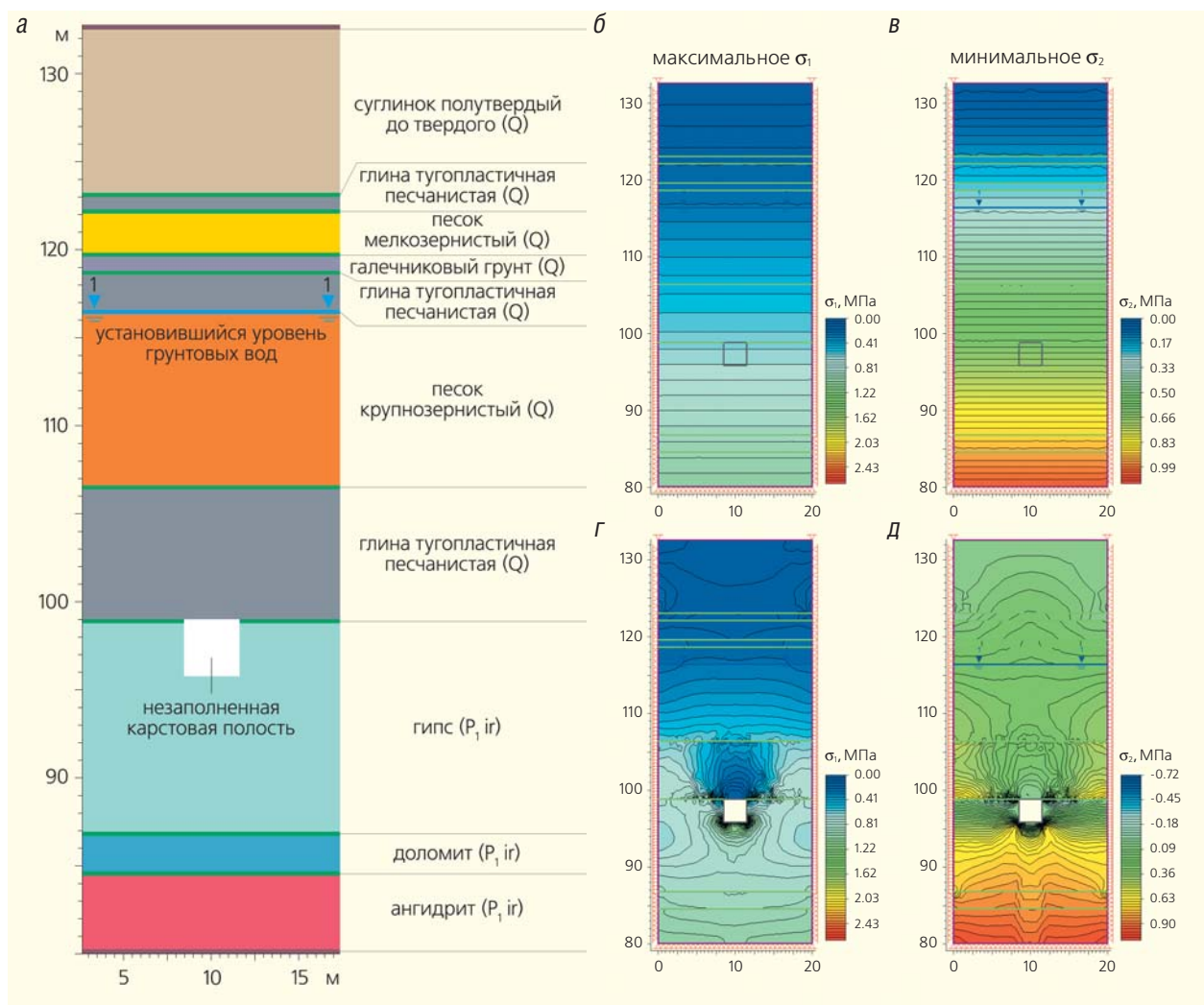


Рис.1. Компьютерное моделирование напряженного состояния грунтовой толщи в типовой скважине: а — типовая модель карстового массива; б, в — главные напряжения в условиях отсутствия элементов ослабления карстового массива; г, д — главные напряжения при наличии в кровельной части карстующихся пород незаполненной карстовой полости.

дробления, разломы, полости и полостные системы, зоны интенсивной кавернозности. Как показывает практика, эти элементы наиболее динамичны в гидрогеологическом и гидрохимическом отношениях, а следовательно, представляют потенциальную опасность потери устойчивости карстового массива [16–18].

На рис.1 представлена типовая компьютерная модель напряженного состояния грунтовой толщи, которая демонстрирует влияние незаполненной карстовой полости на вышележащие отложения. Моделирование произведено методом конечных элементов с использованием программного обеспечения Rocscience Phase 2.

При изучении влияния элементов ослабления на перекрывающую толщу целесообразно обращать особое внимание на прикровельную часть карстующихся пород и перекрывающие грунты.

В классическом карстоведении прикровельная часть карстующихся пород соответствует приповерхностной [19], или эпикарстовой зоне [20–22] — геологической среде, в пределах которой наблюдаются локальные изменения перекрывающих нерастворимых пород. Для инженерно-геологической характеристики закарстованности в приповерхностной зоне Дублянские выделили пять подзон ослабления прочности в геологическом строении карстового массива: дезинтеграцию, кавернозность, закарстованность (наличие полостей с разной степенью заполнения), разуплотнение и брекчирование [23]. Все эти формы нарушения сплошности определяют состояние геологической среды.

На рис.2 показано расположение в различных карстовых массивах элементов ослабления, влияющих на свойства вмещающих и перекрывающих отложений [24].

Перекрывающая толща грунтов относительно доступна для изучения элементов карстового массива как прямыми, так и косвенными методами. Ее мощность, состав и состояние во многом определяют избирательное возникновение и развитие процессов суффозионного разрушения грунтов, активность и избирательность растворения ниже лежащей (карстующейся) толщи и, как следствие, вероятность и механизм образования провалов.

Как правило, в областях развития сульфатно-карбонатного карста, где мощность перекрывающих отложений более 50 м, распространение карстовых форм ограничено. Относительно высокая степень проявления карста характерна для территорий, на которых мощность покровов составляет от 15 до 40 м (рис.3). Кроме того, области карстующихся пород, перекрытые песчаными отложениями, в карстологическом отношении более опасны, чем территории, сложенные растворимыми породами, которые перекрыты глинами или суглинистыми отложениями (рис.4).

Часто с увеличением мощности перекрывающей толщи снижается вероятность формирования провалов. Эта тенденция определяется как минимум двумя факторами: ограничением инфильтрации атмосферных осадков в карстующиеся отложения и постепенным затуханием вверх по разрезу деформаций грунтов над сводом полости. Однако сведе-

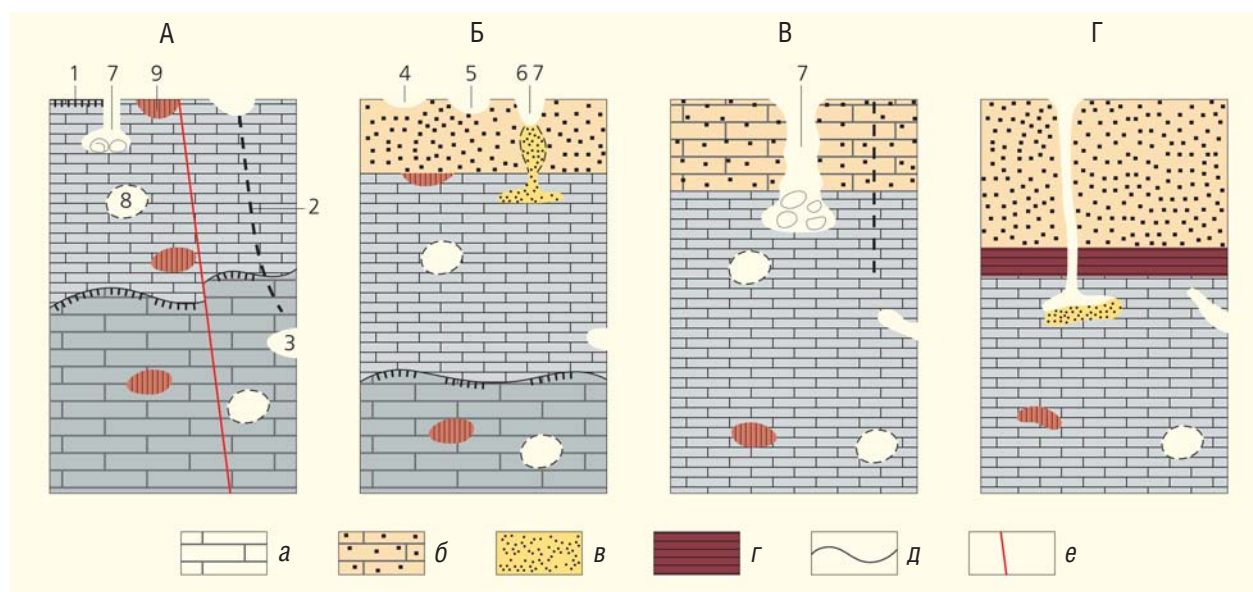


Рис.2. Расположение элементов ослабления в карстовых массивах [24]. Типы карста: А — открытый, Б — покрытый, В — перекрытый, Г — перекрыто-покрытый; породы: а — известняки, б — песчаники, в — пески, г — аргиллиты; д — стратиграфические несогласия, е — тектонические нарушения; карстопоявления: 1 — современный и погребенный карбонатный элювий, 2 — трещины отседания, расширенные растворением, 3 — карстовые ниши, 4 — впадины, 5 — мульды, 6 — просадки, 7 — провалы, 8 — образование полости, 9 — заполнитель полости.

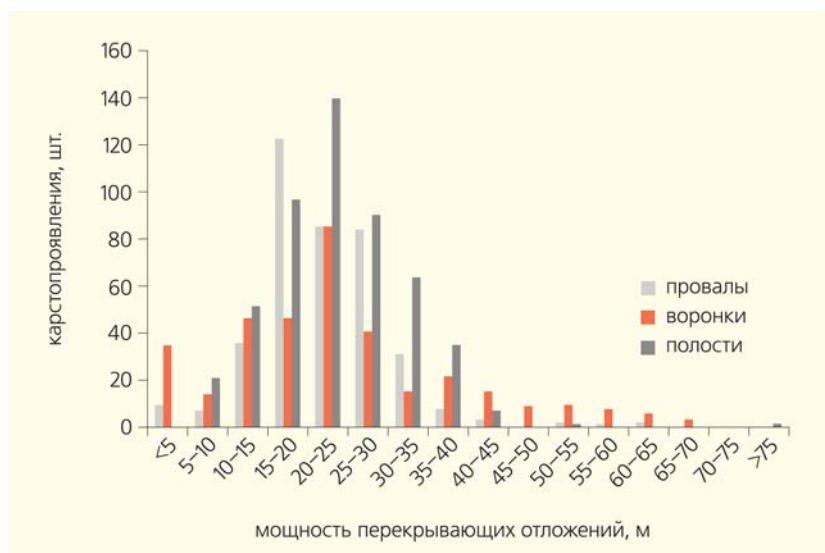


Рис.3. Частота встречаемости карстовых форм в зависимости от мощности перекрывающих отложений (Нижнесылвинский район сульфатно-карбонатного карста, Пермский край).

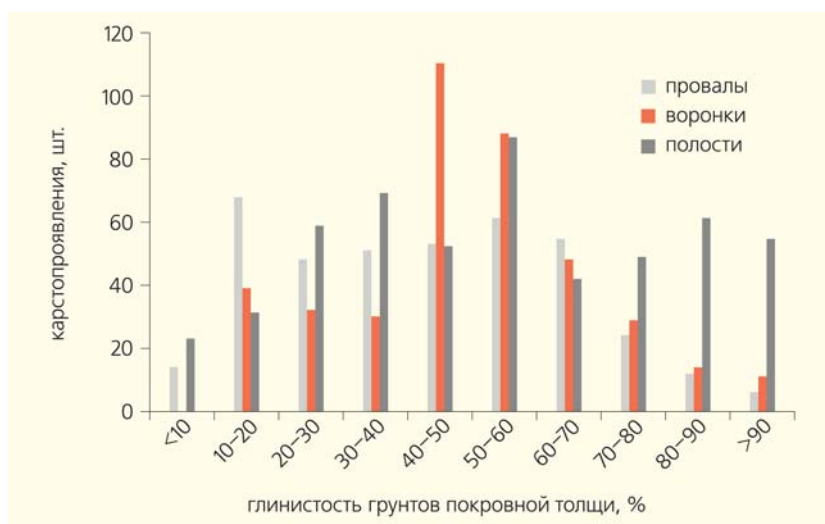


Рис.4. Частота встречаемости карстовых форм на территориях с разными показателями глинистости перекрывающих отложений (Нижнесылвинский район сульфатно-карбонатного карста, Пермский край).

ние изучения покровной толщи только к анализу ее мощности может привести к получению неверных заключений о карстоопасности территории.

Яркий пример развития карстового процесса в массиве со значительной мощностью перекрывающих отложений — территория Республики Татарстан, севернее г.Зеленодольска. Там карстовый процесс развивается на глубинах более 70 м вследствие отсутствия водоупорного слоя между песчаной толщей неоген-четвертичного возраста и сульфатными породами пермской системы.

При наличии глинистого прослоя в основании песчаной толщи или когда перекрывающая толща сложена глинистыми грунтами, преобладающим

механизмом формирования провальной воронки выступает гравитационное обрушение; если же перекрывающая толща представлена песками, то таким механизмом становятся сдвигание и истечение водонасыщенных песков в карстовую полость или в трещину в водоупоре. Если перекрывающие отложения сложены переслаивающимися песками и глинистыми грунтами, в образовании провалов участвуют процессы как обрушения, так и сдвигания частиц грунта под действием силы тяжести. В первом случае образуются провалы карстово-обвального типа, во втором — карстово-суффозионного, в третьем — смешанного [25]. В качестве примера приведем сведения о строении двух участков в районе карбонатно-сульфатного карста во Владимирской (Пивоваровский карстовый участок) и в Нижегородской (Дзержинский карстовый участок) областях (рис.5).

Анализ строения перекрывающих толщ позволяет предположить преимущественное развитие провалов карстово-обвального типа на Пивоваровском участке и карстово-суффозионного типа — на Дзержинском. При наличии глинистого прослоя в основании песчаной толщи над полостями, достигшими критического (для конкретных геологических условий) поперечного размера, при котором теряется устойчивость свода полости, также образуются провалы карстово-

обвального типа. В геологическом разрезе Дзержинского участка присутствуют суффозионно-неустойчивые грунты, и велика вероятность формирования здесь карстово-суффозионных просадок грунтовой толщи вследствие неравномерной трещиноватости глинистого водоупора.

Дополнительно отметим, что проницаемость перекрывающей толщи влияет на интенсивность растворения подстилающихся карстующихся пород. А.И.Печеркин сравнил карты изогипс кровли пермских растворимых сульфатных пород на территориях Пермской обл. (ныне края) и Самарской обл. Оказалось, что расчлененность (амплитуда изменения абсолютных отметок) рельефа кровли карсту-

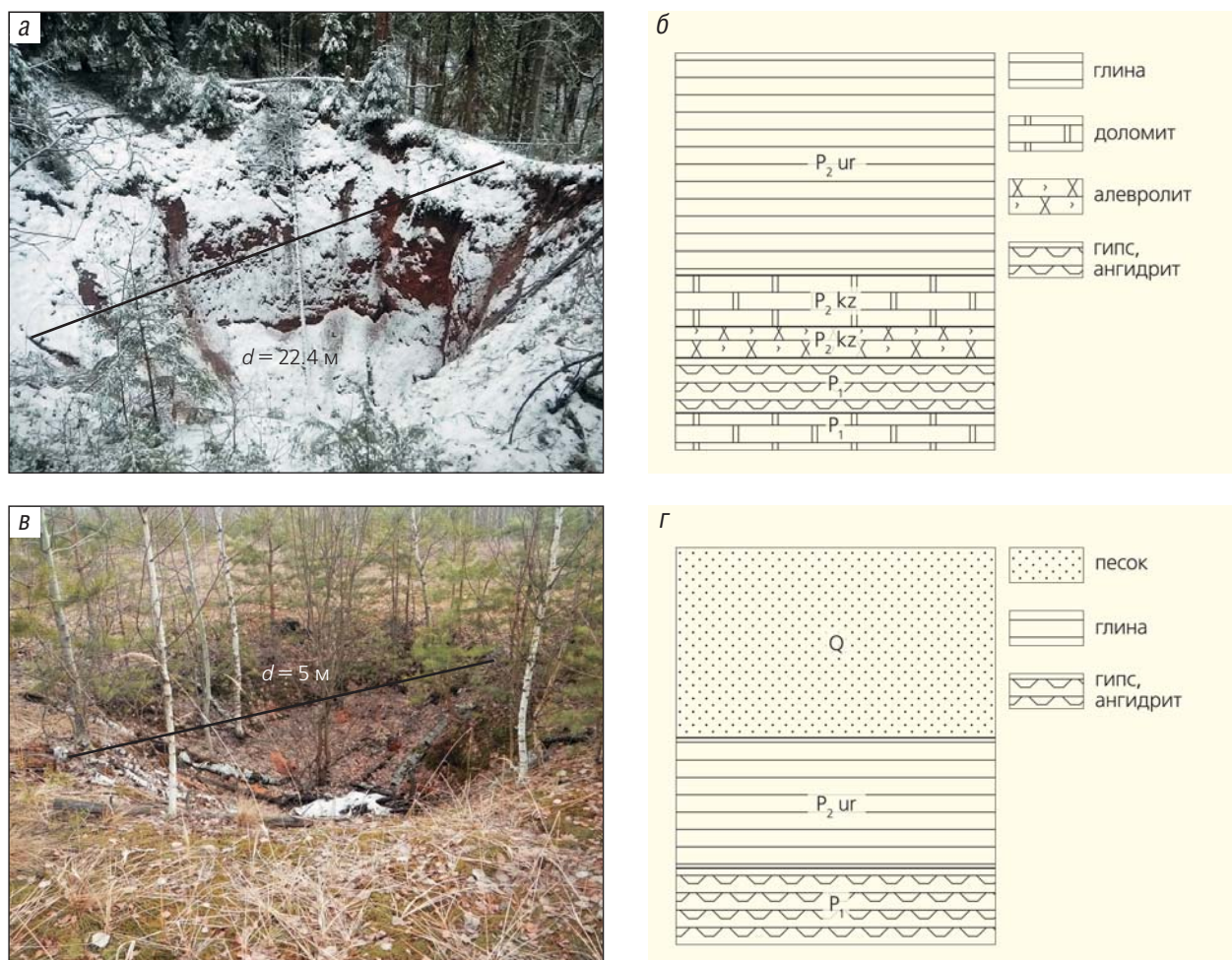


Рис.5. Поверхностное проявление карстового процесса (а, в) и сводный геологический разрез (б, г) территорий Пивоваровского (вверху) и Дзержинского карстовых участков.

ющихся отложений определяется различной проницаемостью перекрывающей толщи. Так, величина данного параметра в Пермской обл. (крае) составляет 15–20 м, а в Самарской — более 30 м. В первом случае перекрывающая толща представлена плотными глинами и суглинками, во втором — песчано-суглинистыми отложениями [26].

В условиях приближения к неравновесному состоянию, которое обусловлено формированием полостей в карстовом массиве, покровная толща ведет себя как диссипативная система, способная к самоорганизации посредством создания деформационных структур [8]. Таким образом, формирование элемента ослабления в толще карстующихся пород приводит к изменению состояния и прочностных свойств грунтов в сводовой части, что связано с разгрузкой напряжений в точке ослабления карстового массива. При этом происходит деформация покровной толщи, вплоть до образования на поверхности провальной воронки.

Неупругие деформации, определяющие образование провальных воронок, возникают в результате формирования карстовых полостей с критически-

ми поперечными размерами, при которых их свод обрушается. Индикатором же наличия карстовых полостей меньшего размера могут служить зоны с аномальными значениями физико-механических параметров перекрывающих отложений.

Данная идея основана на том, что карстовый массив представляет собой часть геологической среды. Он наделен ее фундаментальными свойствами, такими как изменчивость, неоднородность, дискретность и др. Изменчивость массива отражает его способность к развитию. Она порождает неоднородность физико-механических, водных и других свойств пород в различных точках массива. Дискретность, которая выражается наличием пор, пустот, трещин, тектонических нарушений слагающих пород, также представляет собой результат развития карстового массива. Все его свойства своим появлением обязаны общему для литосферы процессу литогенеза, который контролирует седиментацию, формирование пород, а затем их разрушение или трансформацию.

Таким образом, возникновение и последующее формирование элементов ослабления обуславлива-

ет сингенетические и постгенетические преобразования не только во вмещающих породах, но и в перекрывающей толще грунтов. Это выражается в возникновении локальных участков покровов с аномальными показателями физико-механических свойств грунта относительно их фоновых значений.

Интенсивность изменения исследуемого параметра будет тем выше (и, следовательно, его будет легче выявить при инженерных изысканиях), чем выше его градиент (т.е. величина приращения его значений при одном и том же расстоянии между точками опробования) [27]. Установление распределения по площади градиентов аномалий физико-механических свойств в перекрывающей толще позволит выделять участки потенциального влияния на грунт элементов ослабления карстового массива.

Изучение перекрывающей толщи в целях карстологического прогноза

Опасность присутствия элементов ослабления в карстовом массиве заключается главным образом в спонтанном обрушении грунтов перекрывающей толщи в карстовую полость. Это может происходить вследствие увеличения при растворении до критических размеров существующих полостных форм и дизъюнктивов. Наиболее верный способ оценки подземной закарстованности массива — прямые наблюдения при бурении. Однако зачастую экономически целесообразная густота сети карстологических выработок недостаточна для достоверной оценки такой опасности.

Невозможность непосредственного наблюдения за развитием карстового процесса на глубине определяет необходимость выявления более или менее общих закономерностей его протекания [28].

Кроме того, несомненно, надо учитывать и возникающие эффекты в покровной толще. Развитие полостей в растворимых породах происходит в течение времени, достаточного для формирования некоторых признаков образования провалов. Распознавание этих признаков, безусловно, повышает объективность оценки карстовой опасности территории, особенно в случае отсутствия на ней поверхностных форм карста [9].

В силу литологической неоднородности перекрывающей толщи ее исследование требует предварительной схематизации геологического разреза. Многокомпонентный состав грунтов и их высокая чувствительность к внешним факторам обуславливают вариативность значений физико-механических характеристик даже в пределах относительно небольшого объема грунта одного и того же генезиса, подвида или разновидности*. Построение расчетной схемы (модели) перекрывающей

толщи без предварительного разделения на элементы может привести к ошибочным результатам из-за малой чувствительности такой модели к изменению параметров именно над карстовыми полостями. Иными словами, предварительная схематизация геологического разреза позволит повысить однородность исследуемых элементов, в пределах которых выделение участков с отличными от фоновых характеристиками будет сопряжено с меньшими трудностями.

Вовлечение в хозяйственное освоение карстовых массивов определяет практический интерес к данной проблеме. Целесообразно проводить схематизацию геологического разреза перекрывающей толщи, применяя классификацию грунтов, которая используется при инженерно-геологических изысканиях и инженерно-карстологических исследованиях.

Изучение именно дисперсных грунтов в карстологическом прогнозе рационально с той точки зрения, что они характеризуются широким распространением, меньшей прочностью и относительно высокой водопроницаемостью. Эти грунты наиболее подвержены влиянию внешних факторов, что отличает их от скальных пород. Последние при значительной мощности и малой трещиноватости играют роль весьма прочного водопора, который не только предотвращает образование провалов над карстовой полостью, но и ингибирует карстовый процесс вследствие слабого доступа пресных вод в толщу растворимых пород.

Физико-механические свойства перекрывающей толщи

Закономерности провалообразования (и в первую очередь — деформация покровной толщи карстовых массивов) определяются свойствами составляющих грунтов и их напряженным состоянием [8, 29]. Особо следует обращать внимание на такие параметры, характеризующие свойства перекрывающих пород, как плотность грунта ρ , коэффициент пористости e , угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C . Они достаточно полно характеризуют прочностные свойства и сопротивляемость внешним воздействиям, т.е. прямо или косвенно определяют способность перекрывающей толщи противостоять обрушению грунтов в карстовую полость. Кроме того, современная нормативная база, используемая при производстве инженерно-геологических изысканий, обязывает проводить лабораторные исследования для получения перечисленных характеристик.

Интерес к исследованию прочностных свойств обусловлен тем, что именно они определяют характер и силу взаимодействия частиц и поведение грунтовой толщи над элементом ослабления кар-

* ГОСТ 25100–2011. Приложение Б, В.

стового массива. Глинистые грунты с высокой прочностью, наряду с ограничением поступления пресных вод в толщу карстующихся отложений, препятствуют обрушению перекрывающей толщи. Песчаные грунты в сухом состоянии в силу отсутствия сцепления между частицами осыпаются (или в водонасыщенном состоянии истекают) в карстовую полость или трещину под действием силы тяжести в соответствии с углом внутреннего трения. Его значения в водонасыщенных грунтах близко к нулю. Влажные пески приобретают незначительное сцепление между отдельными частицами, обусловленное поверхностным натяжением воды в порах на границе твердой, жидкой и газообразной сред. Обрушение песчаных масс происходит в виде компактных тел, ограниченных сверху параболическими сводами [30].

Состояние грунтовой толщи характеризуется плотностью и пористостью, которыми определяется площадь соприкосновения и количество контактов между твердыми частицами грунта. Следовательно, увеличение последних прямо пропорционально трению между грунтовыми частицами (для несвязных отложений) и их сцеплению (для связных), и наоборот.

Влажность, как числовой параметр, характеризующий свойства перекрывающих отложений, в данной работе не рассматривается вследствие ее сезонной изменчивости. Однако мы опосредованно ее учитываем, определяя консистенцию глинистых пород.

Дисперсные грунты, представляющие собой многокомпонентные системы, обладают динамичностью свойств. Пространственно-временная изменчивость физико-механических параметров грунтов дисперсной перекрывающей толщи, по сути, — отражение поступательного развития полостного пространства в толще карстующихся пород.

Компьютерное моделирование

С помощью компьютерного моделирования проследим влияние вариации размеров предполагаемых карстовых полостей на состояние перекрывающей толщи (рис.6). Строение и физико-механические свойства грунтовой толщи приведены по конкретному геологическому разрезу, вскрытому скважинами, которые расположены в 28 км восточнее Москвы и в 6 км юго-западнее Ногинска, недалеко от дер.Аксено-Бутырки. Глинистый водоупор здесь

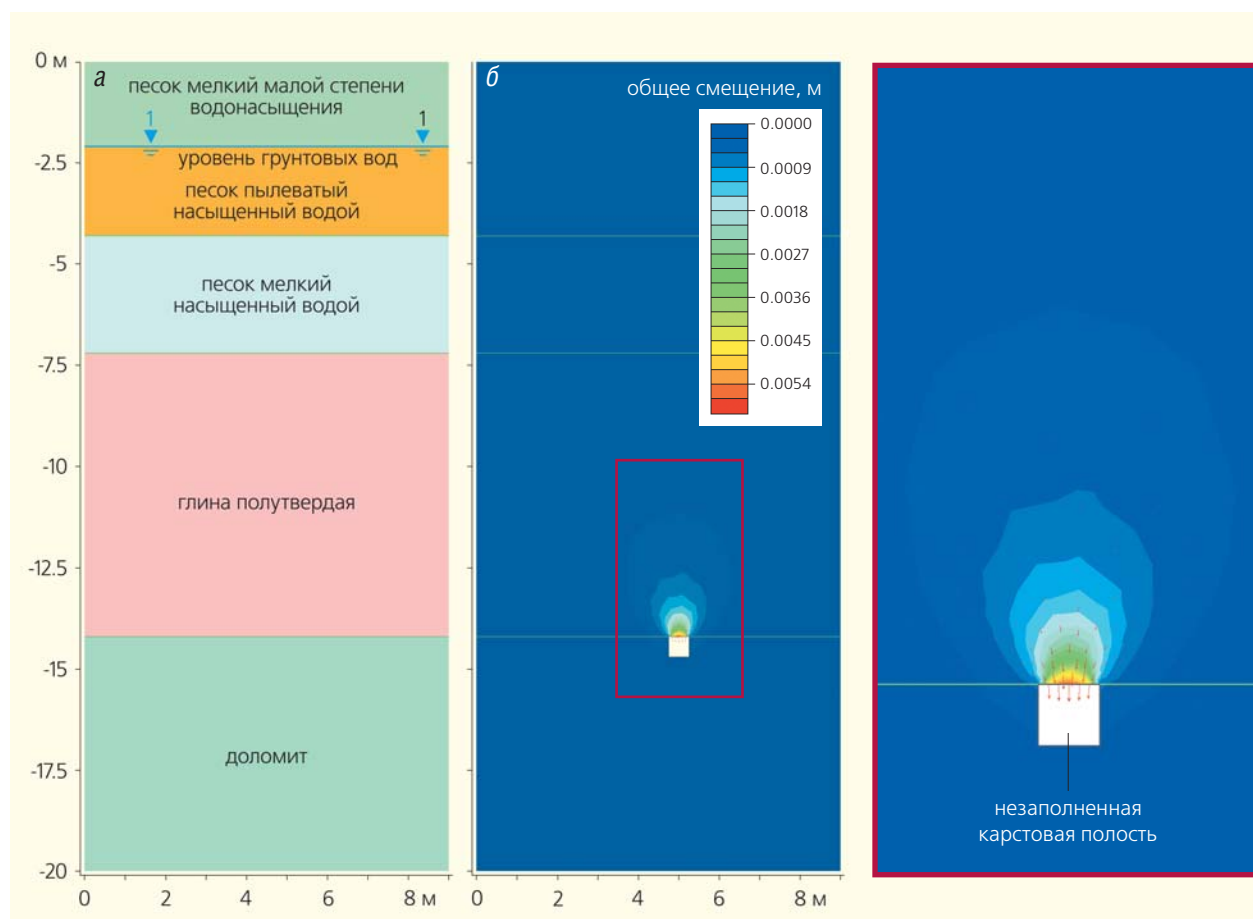


Рис.6. Грунтовая модель геологического разреза (а) и компьютерная модель поведения грунта над карстовой полостью диаметром 0.5 м (б). Красные стрелки — векторы деформации грунтов над карстовой полостью (масштаб 25:1).

Таблица

Исходные параметры для компьютерного моделирования

Грунты перекрывающей толщи	Физико-механические свойства				
	плотность грунта ρ , г/см ³	модуль общей деформации E , МПа	угол внутреннего трения φ , град.	удельное сцепление C , МПа	коэффициент Пуассона ν
Песок мелкий малой степени водонасыщения	2.00	36.6	34.2	0.002	0.30
Песок пылеватый, насыщенный водой	2.03	35.3	31.2	0.002	0.31
Песок мелкий, насыщенный водой	2.00	36.2	32.5	0.002	0.30
Глина полутвердая	1.81	23.6	15.3	0.062	0.33

Угол дилатансии вычисляется по следующим приближительным зависимостям:

 $\psi = 0.666\varphi$ — для песчаных грунтов, $\psi = 0.333\varphi$ — для глинистых грунтов.

сложен юрскими темноцветными глинами. Толща песков представлена комплексом юрско-меловых и четвертичных аллювиальных отложений. Элементы ослабления скважинами не вскрыты.

Для того чтобы оценить влияние элементов ослабления (размером от 0 до 5.0 м) на перекрывающую толщу, мы провели компьютерное моделирование поведения грунта по модели Кулона—Мора. Данная модель требует введения пяти исходных параметров: модуля общей деформации E , коэффициента Пуассона ν , удельного сцепления C , угла внутреннего трения φ и угла дилатансии ψ (табл.). Такое моделирование предполагает смещение вышележащих грунтовых масс в полость по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения с формированием на земной поверхности конусовидной деформации.

В результате стадийного моделирования с постоянным увеличением диаметра элемента ослаб-

ления на 0.5 м была получена графическая зависимость общей деформации грунтов от диаметра полости: на границе песок—глина; на границе мелко-го песка малой степени водонасыщения и пылеватого песка, насыщенного водой; по линии поверхности земли (рис.7).

Сначала в грунтовой толще над элементами ослабления карстового массива наблюдалось постепенное увеличение деформаций грунтов — до определенного момента, когда произошел скачок их значений (при ширине полости 4.0–5.0 м), отвечающий резкому увеличению деформаций до улавливаемых даже невооруженным глазом.

Так, пока диаметр полости был меньше 4.0 м, деформация во всех исследуемых точках карстового массива не превышала 0.5 см. При диаметре карстовой полости 4.0–5.0 м деформация кровельной части глинистого водоупора составляла уже 10 см, деформация земной поверхности — 3.0 см.

* * *

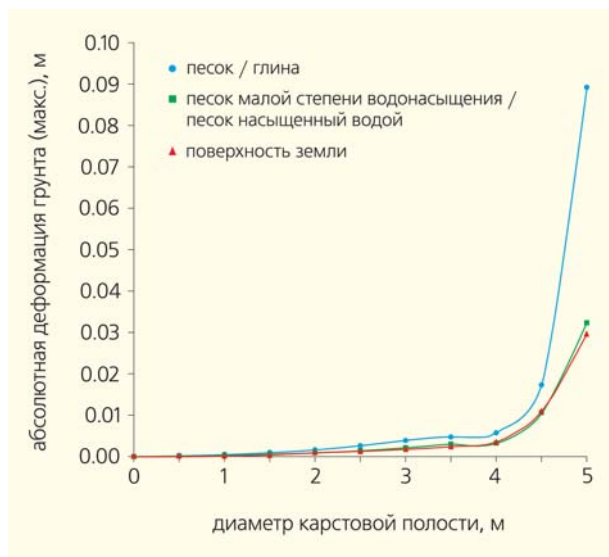


Рис.7. График зависимости абсолютной деформации грунтов перекрывающей толщи от ширины элемента ослабления карстового массива.

Таким образом, элементы ослабления оказывают влияние на перекрывающие грунты до момента достижения карстовой полостью критического размера и до начала образования провала. Это выражается в появлении незначительных по величине деформаций (см. рис.6,б).

Наиболее явно на перекрывающую толщу влияют элементы ослабления, достигшие критического размера, над которыми в грунтах в соответствии с меняющимися физико-механическими свойствами нарушается равновесие между удерживающими и сдвигающими силами.

Участки, физико-механические параметры которых отличаются от фоновых, выступают как индикаторы местоположения элементов ослабления в карстовом массиве. Их выявление позволит очертить опасные зоны, в пределах которых в будущем при достижении полостным пространством критических поперечных размеров возможно образование карстового провала. ■

Литература / References

1. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск, 1992. [Dublyanskaya G.N., Dublyansky V.N. Mapping, zoning, and engineering and geological assessment of karst territories. Novosibirsk, 1992. (In Russ.).]
2. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Распространение карстующихся пород на территории России. Сергеевские чтения. М., 2001; 162–165. [Distribution of karst rocks in Russia. Sergeev's Readings. Moscow, 2001; 162–165. (In Russ.).]
3. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Распространение карстующихся пород и типов карста. Карстоведение — XXI век: теоретическое и практическое значение: Материалы междунар. симпозиума. Пермь, 2004; 49–53. [Distribution of karst rocks and types of karst. Karstology — XXI century: theoretical and practical significance: Proceedings of the International Symposium. Perm, 2004; 49–53. (In Russ., abstr. in Engl.).]
4. Катаев В.Н. Основы структурного карстоведения. Пермь, 2004. [Kataev V.N. Fundamentals of structural karstology. Perm, 2004. (In Russ.).]
5. Андрейчук В.Н. Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. Черновцы, 1999. [Andreichuk V.N. Sinkholes above the gypsum labyrinth caves and stability assessment of karst territories. Chernivtsi, 1999. (In Russ.).]
6. Ерофеев Е.А., Катаев В.Н. Применение вероятностно-статистических методов оценки карстовой опасности в условиях техногенного воздействия на закарстованные территории. Инженерная геология. 2010; 4: 34–46. [Erofeev E.A., Kataev V.N. Application of probabilistic and statistical methods for karst risk assessment under technogenic influence on the karst territories. Engineering Geology World. 2010; 4: 34–46. (In Russ.).]
7. Kaufmann O., Quinif Y. Geohazard map of cover-collapse sinkholes in the "Tournaisis" area. Environmental Geology. 2002; 65: 117–124.
8. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М., 2017. [Anikeev A.V. Sinkholes and subsidence craters in the karst regions: development mechanisms, forecast, and risk assessment. Moscow, 2017. (In Russ.).]
9. Крашенинников В.С., Хоменко В.П. Покрытый карст: необходимые условия, причины и признаки подготовки провалообразования. Промышленное и гражданское строительство. 2013; 11: 6–8. [Krashennikov V.S., Khomenko V.P. Covered Karst: Necessary Conditions, Reasons and Signs of Sinkhole Formation. Industrial and Civil Engineering. 2013; 11: 6–8. (In Russ., abstr. in Engl.).]
10. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М., 1986. [Tolmachev V.V., Troitskii G.M., Khomenko V.P. Engineering and construction development of karst territories. Moscow, 1986. (In Russ.).]
11. Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума. Ред. В.Н.Катаев, Д.Р.Золотарев, С.В.Щербаков, А.В.Шилова. Пермь, 2015; 50–59. [Khomenko V.P. Collapse sinkholes formation: mechanisms and hazard assessment. Environmental safety and construction in karst areas: Proceedings of the International Symposium. V.N.Kataev, D.R.Zolotarev, S.V.Shcherbakov, A.V.Shilova (eds.). Perm, 2015; 183–187. (In Russ., abstr. in Engl.).]
12. Крашенинников В.С. Локальная оценка карстовой опасности с учетом особенностей строения покрывающей толщи. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2017. [Krashennikov V.S. Local assessment of karst hazard taking into account the structural features of the overburden. Extended abstract, PhD (Geology and Mineralogy) Dissertation. (In Russ.).]
13. Крашенинников В.С. Методика оценки карстоопасности в пределах локального участка изысканий. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума. Ред. В.Н.Катаев, Д.Р.Золотарев, С.В.Щербаков, А.В.Шилова. Пермь, 2015; 183–187. [Krashennikov V.S. Methodology to evaluate of karst hazard within the local area of research. Environmental safety and construction in karst areas: Proceedings of the International Symposium. V.N.Kataev, D.R.Zolotarev, S.V.Shcherbakov, A.V.Shilova (eds.). Perm, 2015; 183–187. (In Russ., abstr. in Engl.).]
14. Дробинина Е.В., Ковалева Т.Г., Корякина А.В., Катаев В.Н. Анализ локальной изменчивости физико-механических свойств покровной толщи как метод оценки карстоопасности (на примере с.Усть-Кишерть). Вестник Пермского университета. Геология. 2017; 16(3): 242–255. [Drobinina E.V., Kovaleva T.G., Koryakina A.V., Kataev V.N. Analysis of the Local Variation of Physical and Mechanical Properties of the Covering Strata as a Method of Karst Hazard Assessment (an Example of the Ust-Kishert Village). Bulletin of Perm University. Geology. 2017; 16(3): 242–255. (In Russ., abstr. in Engl.).]
15. Щербаков С.В. Катаев В.Н. Механические свойства дисперсных грунтов покровной толщи и их роль в прогнозе карстовой опасности. Инженерная геология. 2016; 6: 4–17. [Shcherbakov S.V., Kataev V.N. Influence of the mechanical features of covering disperse soils on the prognosis of the karst hazard. Engineering Geology World. 2016; 6: 4–17. (In Russ., abstr. in Engl.).]
16. Катаев В.Н. Системный подход в анализе устойчивости карстовых массивов. Вестник Пермского университета. Геология. 1994; 3: 127–144. [Kataev V.N. A systematic approach to stability analysis of karst massifs. Bulletin of Perm University. Geology. 1994; 3: 127–144. (In Russ., abstr. in Engl.).]
17. Катаев В.Н. Основы структурно-тектонического анализа в карстоведении. Карстоведение — XXI век: теоретическое и практическое значение: Материалы международного симпозиума. Пермь, 2004; 63–69. [Kataev V.N. Principles of structural–tectonic analysis in karstology. Karstology — XXI century: theoretical and practical significance: Proceedings of the International Symposium. Perm, 2004; 63–69. (In Russ., abstr. in Engl.).]

18. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Особенности геоморфологического строения карстовых массивов. Фундаментальные исследования. 2014; 12(4): 774–778. [Shcherbakov S.V., Kataev V.N. Features of geomorphological structure of karst massifs. Fundamental Research. 2014; 12(4): 774–778. (In Russ., abstr. in Engl.).]
19. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т.1: Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь, 1963. [Maksimovich G.A. Fundamentals of Karstology. V.1: Issues on karst morphology, speleology, and karst hydrogeology. Perm, 1963. (In Russ.).]
20. Климчук А.Б. Роль приповерхностной зоны карстовых массивов в гидрогеологии и морфогенезе карста. Киев, 1989. [Klimchuk A.B. Role of the near-surface zone of karst massifs in hydrogeology and karst morphogenesis. Kiev, 1989. (In Russ.).]
21. Ford D. Karst hydrogeology and geomorphology. Chichester, 2007.
22. Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Терминология карста. М., 1991. [Timofeev D.A., Dublyansky V.N., Kiknadze T.Z. Karst terminology. Moscow, 1991. (In Russ.).]
23. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоведение. Ч.1: Общее карстоведение: Учеб. пособие. Пермь, 2004. [Dublyansky V.N., Dublyanskaya G.N. Karstology. Part 1: General karstology: text book. Perm, 2004. (In Russ.).]
24. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Катаев В.Н. и др. Карстоведение. Ч.3: Инженерное карстоведение: Учеб. пособие. Пермь, 2011. [Dublyansky V.N., Dublyanskaya G.N. Kataev V.N. et al. Karstology. Part 3: Engineering karstology: textbook. Perm, 2011. (In Russ.).]
25. Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М., 1995. [Savarenskii I.A., Mironov N.A. Engineering and geological survey guide for karst areas. Moscow, 1995. (In Russ.).]
26. Печеркин А.И. Геодинамика сульфатного карста. Иркутск, 1986. [Pecherkin A.I. Geodynamics of sulfate karst. Irkutsk, 1986. (In Russ.).]
27. Бондарик Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. М., 1971. [Bondarik G.K. Fundamentals of the theory of variability of engineering and geological properties of rocks. Moscow, 1971. (In Russ.).]
28. Толмачев В.В. Вероятностный подход при оценке устойчивости закарстованных территорий и проектировании противокарстовых мероприятий. Инженерная геология. 1980; 3: 98–107. [Tolmachev V.V. A probabilistic approach in assessing the sustainability of karst territories and designing anti-karst strategy. Engineering geology. 1980; 3: 98–107. (In Russ.).]
29. Кутепов В.М. Оценка устойчивости закарстованных территорий методом анализа напряженного состояния массивов пород. Обзор и рекомендации. М., 1986. [Kutepov V.M. Analysis of the stress conditions of rocks for assessment the stability of karst territories. Overview and recommendations. Moscow, 1986. (In Russ.).]
30. Архидьяконовских Ю.В. Моделирование процессов суффозии и гидроразрыва гидросферы: Учебное пособие по спецкурсу. Пермь, 1983. [Arkhiadyakonovskikh Yu.V. Modeling of the processes of suffusion and hydraulic fracturing of the hydrosphere. Textbook for a special course. Perm, 1983. (In Russ.).]

Covering Karst Massifs: Study for the Purpose of Karstological Forecast

E.V.Drobinina^{1,2}, V.N.Kataev¹

¹Perm State University (Perm, Russia)

²Perm branch of LLC "Antikarst and coastal protection" (Dzerzhinsk, Nizhny Novgorod oblast, Russia)

The conducted studies in theoretical terms are aimed at developing a systematic approach to the study of karst massifs — geological bodies of a specific structure (a set of elements and their interaction). The thickness of the covers over soluble rocks, as a structural element of the karst massif, responds to the occurrence and change of the parameters of the "weakening elements" in the karst stratum. Karst cavities, crushing and disintegration zones in soluble bedrock are considered as such weakening elements. It has been established that the properties of the overlying stratum are most clearly changing over the cavities that have reached critical transverse dimensions, at which the equilibrium between the holding and shear forces is violated and the cavity arch collapses. The areas of integument with anomalous values of physical and mechanical properties could serve as an indicator of the presence of karst cavities, the size of which does not reach a critical one. The mentioned properties are spatially correlated with areas of changes in the stress-strain state in the karst formation near the karst cavity and above it. A concrete example shows how the karst cavity (until it reaches a critical span) affects the properties of the integument.

Keywords: karst massif, covering layer, physical and mechanical properties, karstological forecast, covered karst, karst massif weakened elements, computer simulation.

Эвдиалиту — 200 лет: история открытия и изучения

доктор геолого-минералогических наук Р.К.Расцветаева¹, кандидат геолого-минералогических наук С.М.Аксенов¹

¹Институт кристаллографии имени А.В.Шубникова РАН (Москва, Россия)

e-mail: rast.crys@gmail.com, aks.crys@gmail.com

За 20 лет до открытия эвдиалита минералоги и химики Европы исследовали гранатоподобный минерал красного цвета. Первые химические анализы этого минерала из Гренландии показали присутствие в нем 10 вес.% оксида циркония. Так появился *гренландит*. Однако впоследствии установили, что этот химический анализ был ошибочным. В составе минерала циркония нет, и, скорее всего, он принадлежит к группе граната. В 1819 г. в другом минерале из Гренландии немецкий химик Ф.Штрмейер также обнаружил цирконий и назвал его эвдиалитом. Хотя внешне он был похож на гренландит, но имел главное отличие — легко растворялся в кислоте даже без нагревания, что и было отражено в его названии. В статье описывается история открытия эвдиалита и его дальнейшее исследование в течение 200 лет, которое продолжается и сейчас.

Ключевые слова: эвдиалит, гренландит, гранат, структура, минеральный вид.

Один из главных цирконосиликатных минералов — эвдиалит — в этом году отмечает свое 200-летие. Конечно, сам минерал намного старше, но 200 лет назад о нем никто не знал. Более того, его часто принимали за другие минералы: гренландит, гренландский пироп, красный гранат. Полную драматизма историю открытия эвдиалита описал в своем обзоре А.Секвист [1]. Но обо всем по порядку.

Началась эта история тогда, когда немецкий химик Ф.Штрмейер сделал химический анализ одного из образцов, найденных известным минералогом К.Л.Гизеком (K.L.Giesecke) во время его длительного (1806–1813 гг.) путешествия по Гренландии. Штрмейер доложил результаты своих анализов 13 ноября 1819 г. на заседании Королевского научного общества [2]. Один из необычных минералов он описал как прекрасный, по внешнему виду похожий на представителей группы граната, особенно на гренландский пироп. Штрмейер назвал его эвдиалитом, что в переводе с греческого означает растворимый в кислоте. Новый минерал легко растворялся в кислоте без нагревания, образуя желатин. Удивительно, ученый угадал, что это — новый минерал, а не пироп, на который он был так похож. Ведь до него необычный гренландский пироп изучался многими минералогами. В том числе им интересовался и русский граф Дм.Голицын — дипломат, увлекающийся науками. Впоследствии, оставив посольскую службу, он по-

святил себя минералогии. В 1801 г. Голицын послал гренландский пироп на химический анализ известному химику, пионеру современной фармакологии Дж.Б.Троммсдорффу (J.B.Trommsdorff), который пришел к заключению, что минерал содержит 10 вес.% оксида циркония [3]. В то время был известен только один минерал, содержащий цирконий — циркон. И Троммсдорфф назвал исследуемый минерал плотным гиацинтом (гиацинт — устаревшее название циркона). Голицын тоже решил, что гренландский минерал, содержащий цирконий, не может принадлежать группе граната, и назвал его гренландитом. Никто не мог предположить, что 160 лет спустя в Арканзасе будет открыт циркониевый минерал группы граната — кимцеит [4].

А что же загадочный гренландит? Мог ли он быть эвдиалитом? Ведь его красные кристаллы так похожи на зерна эвдиалита. Однако в отличие от последнего, он плотнее и по данному признаку более близок к гранатам, хотя по форме кристаллов выделяется среди типичных представителей этой группы. Но главное отличие гренландита от эвдиалита — плохая растворимость в кислотах. К тому же более поздние анализы, выполненные М.Г.Клапротом, показали, что его состав был ошибочным, и он вовсе не содержит цирконий [5]. Позднее к аналогичному выводу пришел и К.Г.Пфафф [6]. В то время это было не удивительно. Даже искусные химики могли ошибаться. В частности, из-

за ошибок в анализах минералов некоторые новые элементы периодической таблицы Менделеева в дальнейшем были дискредитированы*.

А вот цирконий, определенный Штроемeyerом в составе эвдиалита, позже полностью подтвердил тот же Пфафф [7]. Так началось изучение эвдиалита, которое продолжается до сих пор.

Хотя первоначально эвдиалит был открыт в Гренландии, со временем выяснилось, что он широко распространен и в других регионах. Многочисленные находки этого минерала сделаны уже в десятках щелочных массивов мира, а большинство крупных месторождений эвдиалита связано с щелочными и ультраосновными массивами Кольского п-ова на территории России.

С точки зрения практического интереса, эвдиалит рассматривается как потенциальный источник циркония и других редких элементов, которые он способен концентрировать. Однако наиболее удивительная его особенность — уникальная сложность и изменчивость состава и кристаллической структуры. Эвдиалит вмещает почти половину элементов таблицы Менделеева. Прошло около 150 лет со времени его описания Штроемeyerом,

а структура минерала все еще оставалась неизвестной. Рентгеноструктурный метод не мог справиться с такой сложной задачей: ячейка объемом более чем $5000 \text{ \AA}^3$ была слишком большой, а третий параметр ($c \sim 31 \text{ \AA}$) — слишком длинный. Но под руководством академика Н.В.Белова структуру эвдиалита, наконец, расшифровали [8], и минерал обрел вторую жизнь. Одних только публикаций по кристаллическим структурам появилось больше сотни. Среди них обзоры [9–14] и наша монография [15]. Эвдиалит оказался весьма эффективной моделью, на которой были установлены многие кристаллохимические, геохимические и генетические закономерности. Мы неоднократно писали о нем и в «Природе»**.

Структурная сложность минерала заключается в необычном разнообразии фрагментов. Кроме Zr-октаэдра в его структуре содержатся два типа колец из кремнекислородных тетраэдров (трехчленные Si_3O_9 и девятичленные Si_9O_{27}) и шестичленное кольцо из Ca-октаэдров, соединенных ребрами. Причем девятичленное и шестичленное кольца уникальны и не встречаются в других минералах (рис.1). Разнообразие фрагментов увеличивается за счет трансформаций кольца $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$ в 10-членные диски при статистическом заселении середины кольца различными катионами в тетраэдрической или в октаэдрической координации (рис.2).

Фрагменты, расположенные между шестичленными кольцами, также топологически различны. Прежде всего, это квадратная координация, которая встречается в минералах крайне редко, а также тетрагональная пирамида либо октаэдр, построенные на базе этого квадрата (рис.3). Все эти полиэдры могут заселяться (чаще всего статистически) различными подходящими по размеру катионами. Кроме того, в структуре есть пять типов полостей, занимаемых крупными катионами — Na, K, Sr, REE и др., а также водородсодержащими группировками H_3O и H_2O .

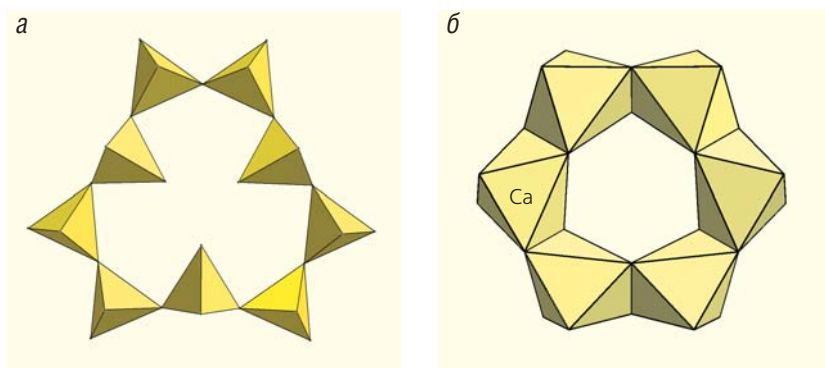


Рис.1. Уникальные кольца в структуре эвдиалита: а — девятичленное из кремнекислородных тетраэдров $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$, б — шестичленное из Ca-октаэдров.

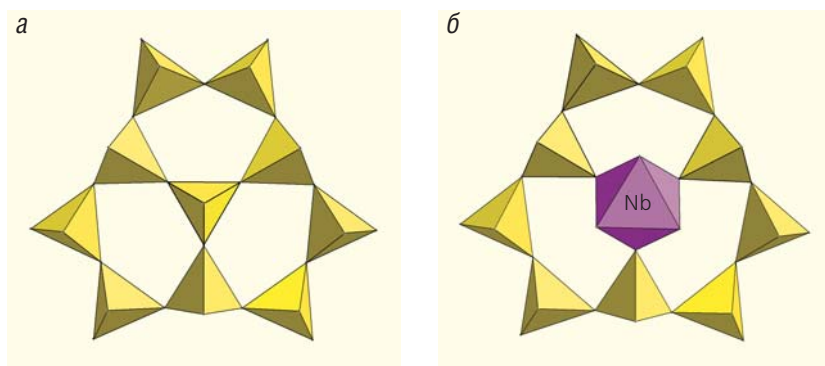


Рис.2. 10-членные диски в структуре эвдиалита: а — $[\text{Si}_{10}\text{O}_{28}]$, б — $[\text{Si}_9\text{MO}_{30}]$.

* См.: Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. Что в имени твоём? Химические элементы, открытые благодаря минералам // Природа. 2019. №3. С.14–21.

** См., например: Расцветаева Р.К. Царь Эвдиалит и его династия: Минералогическая сказка (2001. №4. С.63–67); Хомяков А.П., Расцветаева Р.К. Как мы потеряли барсановит и обрели георгебарсановит (2005. №12. С.25–28); Расцветаева Р.К. Вид и разновидность: Минералогическая сказка (2006. №4. С.27–31); Расцветаева Р.К. От эвдиалитов — к мегэвдиалитам (2009. №2. С.38–47).

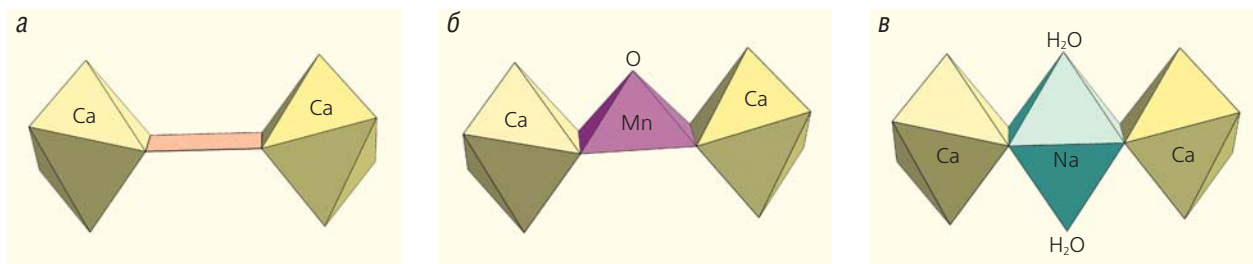
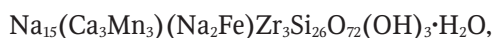


Рис.3. Полиэдры в структуре эвдиалита: а — квадрат, б — тетрагональная пирамида, в — октаэдр.

Широкий изоморфизм элементов в большинстве внекаркасных и части каркасных позиций в сочетании со структурным разнообразием приводит к большому числу самостоятельных минеральных видов, составляющих группу, которую возглавляет эвдиалит. Сам же родоначальник имеет относительно простой элементный состав (определенный еще Штроемeyerом), который укладывается в идеализированную кристаллохимическую формулу



полученную в результате структурной расшифровки [8]. Другие члены группы выделяются при доминировании ряда элементов в одной из ключевых позиций. Распределение элементов происходит в результате сочетания двух факторов — конкуренции их активностей в минералообразующей среде и сродства к различным позициям в структурах эвдиалитоподобных минералов. Последние могут относиться к разным группам симметрии ($R3m$, $R-3m$ или $R3$). При исследовании комплексом методов (с обязательным участием рентгеноструктурного анализа) в группе эвдиалита установлено свыше 30 минеральных видов [15]. И этот процесс продолжается (главным образом усилиями российских ученых), что выдвигает данную группу в разряд уникальных по числу потенциально возможных ее членов. В специфических условиях образуются минералы с оригинальными составами или неизвестным прежде распределением элементов по позициям структуры. Среди них и расцветаевит, названный в честь одного из авторов нашей статьи [16]. В числе недавних открытий — илюхинит и сиудайт* [17, 18]. А в этом (юбилейном) году группа эвдиалита пополнилась минералом *сергеванитом* (рис.4)



который открыт как новый вид при нашем участии и утвержден Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации (IMA 2019).

* См.: Расцветаева Р.К., Аксенов С.М. Возвращение на родину: химические и структурные особенности сиудайта — нового минерала из Хибинского массива // Природа. 2018. №8. С.18–23.

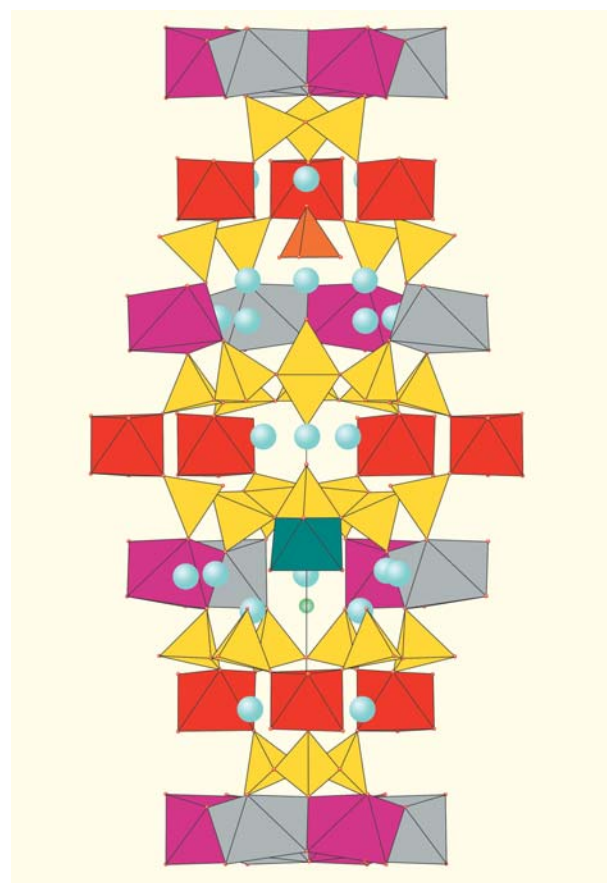


Рис.4. Структура сергеванита.

Сергеванит мы назвали по месту находки близ р.Сергеван в подземной выработке на горе Карнасурт Ловозерского щелочного массива (Кольский п-ов). Образец минерала хранится в Минералогическом музее имени Е.А.Ферсмана в Москве под регистрационным номером 5423/-057. Получается, что мы приготовили подарок эвдиалиту как раз к его 200-летию 13 ноября 2019 года!

* * *

Эвдиалит поистине неисчерпаем. Прошло целых 200 лет со времени его открытия, а он еще не раскрыл всех своих тайн. В частности, ученые до сих пор не могут понять, почему, несмотря на широкую распространенность в природе, его никак не удается синтезировать в лабораторных условиях. ■

Литература / References

1. *Sjöqvist Axel S.L.* The Tale of Greenlandite: Commemorating the Two-Hundredth Anniversary of Eudialyte (1819–2019). *Minerals*. 2019; 9(8): 497–510.
2. *Stromeyer F.* Analyse einiger von dem Prof. von Giesecke in Grönland entdeckten Fossilien: Gieseckit, Saphirin, Apophyllit, Dichroit, Arragonit und Eudialit. *Annalen der Physik und der physikalischen Chemie* 1819; 63(3): 372–381.
3. *Trommsdorff J.B.* Chemische Untersuchung eines hyacinthähnlichen Fossils. *Chemische Annalen für die Freunde der Naturlehre, Arzneygelahrtheit, Haushaltkunst und Manufakturen*. 1801; 67: 433–438.
4. *Milton C., Ingram B.L., Blade L.V.* Kimzeyite, a zirconium garnet from Magnet Cove, Arkansas. *American Mineralogist*. 1961; 46: 533–548.
5. *Klaproth M.H.* Chemische Untersuchung des rothen Granats aus Grönland. *Beiträge zur chemischen Kenntniss der Mineralkörper*. Berlin, 1810; 5: 131–137.
6. *Pfaff C.H.* Ueber die Mischung der granatartigen Fossilien, den grönländischen schaaligen Pyrop, ein neues titanhaltiges granartiges Fossil aus Arendahl (Rutilit), den sogenannten Zirkongranat, und die Aehnlichkeit der Zirkonerde mit dem Titanoxyd. *Journal für Chemie und Physik*. 1817; 21: 233–253.
7. *Pfaff C.H.* Analyse eines neuen aus Grönland von Herrn Professor Giesecke mitgebrachten Granatartigen von Herrn Prof. Stromeyer Eudyalith genannten Fossils, und Auffindung einer neuen Substanz in demselben. *Journal für Chemie und Physik*. 1820; 29: 1–25.
8. *Гольшев В.М., Симонов В.И., Белов Н.В.* Кристаллическая структура эвдиалита. *Кристаллография*. 1972; 17(6): 1119–1123. [*Golyshev V.M., Simonov V.I., Belov N.V.* Crystal structure of eudialyte. *Crystallography Reports*. 1972; 17(6): 1119–1123. (In Russ.).]
9. *Johnsen O., Grice J.D.* The crystal chemistry of the eudialyte group. *Can Mineral*. 1999; 37: 865–891.
10. *Расцветаева Р.К., Хомяков А.П.* Кристаллохимия модулярных эвдиалитов. *Кристаллография*. 2003; 48(6): (Приложение) S78–S90. [*Rastsvetaeva R.K., Khomyakov A.P.* Crystalchemistry of modular eudialytes. *Crystallography Reports*. 2003; 48(6): (Application) S78–S90. (In Russ.).]
11. *Расцветаева Р.К.* Структурная минералогия группы эвдиалита. *Кристаллография*. 2007; 52(1): 50–67 [*Rastsvetaeva R.K.* Structure mineralogy of eudialyte group. *Crystallography Reports*. 2007; 52(1): 50–67. (In Russ.).]
12. *Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В.* Кристаллохимические принципы классификации минералов группы эвдиалита. *Записки РМО*. 2011; 140(3): 25–39. [*Rastsvetaeva R.K., Chukanov N.V.* Crystalchemistry principles of classification of eudialyte group minerals. *Geology of Ore Deposits*. 2011; 140(3): 25–39. (In Russ.).]
13. *Расцветаева Р.К.* Очерки по геокристаллохимии эвдиалитов. М., 2017. [*Rastsvetaeva R.* Очерки on eudialyte crystalchemistry. Moscow, 2017. (In Russ.).]
14. *Расцветаева Р.К.* Сравнительная кристаллохимия изоморфного ряда эвдиалита. *Структурная кристаллография*. М., 1992; 204–220. [*Rastsvetaeva R.K.* Comparative crystalchemistry of eudialyte row. *Structure Crystallography*. М., 1992; 204–220. (In Russ.).]
15. *Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В., Аксенов С.М.* Минералы группы эвдиалита: кристаллохимия, свойства, генезис. Нижний Новгород, 2012. [*Rastsvetaeva R.K., Chukanov N.V., Aksenov S.M.* Minerals of eudialyte group: crystalchemistry, properties, genesis. Nizhniy Novgorod, 2012. (In Russ.).]
16. *Хомяков А.П., Нечелюстов Г.Н., Аракчеева А.В.* Расцветаевит $\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_4[\text{Si}_3\text{O}_9]_4[\text{Si}_5\text{O}_{27}]_4(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$ — новый минерал с модулярной эвдиалитоподобной структурой и кристаллохимическая систематика группы эвдиалита. *ЗРМО*. 2006; (1): 49–65. [*Khomyakov A.P., Nchelyustov G.N., Arakcheeva A.V.* Rastsvetaevite $\text{Na}_{27}\text{K}_8\text{Ca}_{12}\text{Fe}_3\text{Zr}_6\text{Si}_4[\text{Si}_3\text{O}_9]_4[\text{Si}_5\text{O}_{27}]_4(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6\text{Cl}_2$ — a new mineral with modular structure and crystalchemical systematics of eudialyte group. *Geology of Ore Deposits*. 2006; (1): 49–65. (In Russ.).]
17. *Расцветаева Р.К., Розенберг К.А., Чуканов Н.В., Аксенов С.М.* Кристаллическая структура илюхинита — нового минерала группы эвдиалита. *Кристаллография*. 2017; 62(1): 69–74. [*Rastsvetaeva R.K., Rozenberg K.A., Chukanov N.V., Aksenov S.M.* Crystal structure of ilyukhinite, a new mineral of the eudialyte group. *Crystallography Reports*. 2017; 62(1): 60–65.]
18. *Chukanov N.V., Rastsvetaeva R.K., Kruszewski J. et al.* Siudaite, $\text{Na}_8(\text{Mn}^{2+}\text{Na})\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{74}(\text{OH})_2\text{Cl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Khibiny alkaline massif, Kola Peninsula. *Phys. Chem. Min.* 2018; 45(8): 745–758.

200th Anniversary of Eudialyte: Its Discovery and Study History

R.K.Rastsvetaeva¹, S.M.Aksenov¹

¹Shubnikov Institute of Crystallography, RAS (Moscow, Russia)

Twenty years before the discovery of the mineral eudialyte, a red garnet-like mineral from Greenland was studied by mineralogists and chemists in Europe. Furthermore, the first chemical analyses of the Greenlandic mineral reported in it 10 percent by weight of zirconium oxide. It was named Greenlandite. However, it was subsequently determined that this chemical analysis was erroneous. The mineral does not contain zirconium and presumably belong to the garnet group. In 1819, the German chemist F.Stromeyer also discovered zirconium in another mineral from Greenland and named the mineral Eudialyte. Although outwardly it looked like greenlandite, but had a major difference — it dissolves readily in acids without heating. It was reflected in its name. This paper describes the history of eudialyte discovery and its the further 200-years investigations that continued even nowadays.

Keywords: eudialyte, greenlandite, garnet, structure, mineral species.

Как найти своего динозавра

кандидат геолого-минералогических наук В.Н.Комаров

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

komarovmgri@mail.ru

В 2018 г. в серии «Знакомимся с природой» вышла в свет замечательная научно-популярная книга Д.В.Григорьева «Как откопать своего динозавра». В предисловии автор, с детства увлекавшийся палеонтологией, отметил, что хотел бы доходчиво рассказать молодым читателям о работе специалиста, который изучает органический мир прошлого. Автор подчеркивает, что только у палеонтолога есть возможность шагнуть вглубь времен и открыть новые неизведанные миры, гораздо более удивительные и невероятные, чем миры в книгах фантастов. В качестве примера для изучения выбраны динозавры, наиболее экзотические и популярные представители доисторических животных. Тем не менее методический материал, изложенный в книге, в полной мере может быть распространен и на любую другую группу доисторических существ. Автор напоминает, что находки российских динозавров редки, и объясняет это в том числе и отсутствием достаточного числа специалистов-палеонтологов. Заинтересовать школьников палеонтологией, способствовать становлению новых увлеченных специалистов и призвана эта работа.

В начале книги рассказывается о том, кто такие динозавры. Обращается внимание на то, что это группа вымерших исключительно наземных позвоночных животных, живших на Земле в мезозойскую эру, которые доминировали на континентах на протяжении 160 млн лет. Автор указывает на то, что птицы, по всей видимости, произошли от мелких хищных динозавров. Скелеты данных животных очень похожи. И многие биологи считают, что возможно имеет смысл пересмотреть систематическое положение птиц и отнести их к рептилиям. На территории России динозавры известны из юрских и меловых отложений. Триасовых образцов пока нет. В книге кратко описана история наиболее интересных находок динозавров в России и в сопредельных странах (Китае и Монголии). Эти образцы стали украшением экспозиций отечественных музеев. Охарактеризованы и географические привязки местонахождений, указаны авторы находок, систематическая принадлежность, наиболее яркие морфологические черты и образ жизни обнаруженных форм. В некоторых случаях делается вывод о причинах гибели животных.

В следующем разделе рассмотрен вопрос о том, где целесообразно искать кости динозавров. Автор справедливо обращает внимание на то, что в первую очередь важно понять механизмы того, как кости сохраняются в течение многих миллионов лет и попадают в палеонтологическую летопись. В книге в очень доступной форме изложены основные особенности процесса фоссилизации — превращения остатков погибших организмов в окаменелости. Для плодотворных поисков динозавров необходимо в полной мере использовать геологические карты, на которых показывается возраст отложений, и палеогеографические карты, демонстрирующие распределение морей и суши в определенный период времени.

Автор рассматривает основные инструменты, которые используют палеонтологи в повседневной полевой работе (и от которых во



Григорьев Д.В.

Как откопать своего динозавра.

Серия «Знакомимся с природой».

М.: Фитон XXI, 2018. 64 с.

многое зависит конечный результат поисков окаменелостей), а также подробно обсуждает методику проведения раскопок. Он рассказывает, как отбирать образцы, их консервировать, описывает приемы последующей камеральной обработки и определения, дает начинающим любителям палеонтологии ценные советы, в том числе по грамотной документации находок.

В заключении Григорьев говорит о том, что необходимо сделать, чтобы получить образование палеонтолога.

Следует отметить, что книга очень хорошо оформлена. В ней приведена геохронологическая шкала с указанием основных групп животных, некогда населявших нашу планету. В качестве ценных приложений имеются списки палеонтологиче-

ских кружков и музеев России (с данными о контактах), а также перечень полезных палеонтологических сайтов в Интернете.

Автор книги Дмитрий Викторович Григорьев — признанный специалист в области изучения мозазавров. Это очень увлеченный, разносторонний человек, который помимо всего прочего массу времени уделяет благородной работе со школьниками. На занятиях ребята не только занимаются палеонтологией, но и создают на основе пластилина удивительные по выразительности мультфильмы о природе.

Книга Григорьева предназначена прежде всего для детей среднего школьного возраста, однако она, без сомнения, будет полезна всем, кого интересует история нашей планеты. ■

Физика. Океанография

В.А.Щевьев. ФИЗИКА ВОЛН В ОКЕАНАХ, МОРЯХ И ОЗЕРАХ: Историческая драма идей, поисков, размышлений, заблуждений, открытий. М.: Бит-принт, 2019. 296 с.



Вихри и океанические волны (планетарные, длиннопериодные, волны Россби), периоды которых значительно превышают периоды гравитационных волн, занимают существенное место в динамике океана. В главе 1 анализируются результаты изучения волновых процессов в океанах, морях и озерах, нашедшие отражение в шести фундаментальных книгах (П.Ле Блона и Л.Майсека, А.С.Блатова и В.С.Тужилкина, А.С.Монина и Г.М.Жихарева, С.С.Лаппо, Г.С.Ландсберга, Р.Фукса). Глава 2 посвящена закономерностям течений в морях и крупных озерах на основе интерпретации инструментальных наблюдений. В главе 3 описаны закономерности течений в океанах и охарактеризована природа крупномасштабных циркуляций. В главе 4 собраны гипотезы разных авторов о воздействии приливных сил на все оболочки планеты. На основе анализа многочисленных наблюдений выявлены гипотезы, наиболее близкие к действительности. В главе 5 рассмотрена природа волновых течений. Глава 6 посвящена методам изучения течений. В главе 7 обсуждаются социологические аспекты научных исследований. В «Заключении» автор сравнивает собственные выводы с основными положениями книги Г.Стоммела (1955) — первого обобщения проблемы Гольфстрима с точки зрения как физической географии, так и общей океанографии.

«Nature» — 150 лет!



4 ноября 2019 г. всемирно известному научному еженедельнику «Nature» исполнилось 150 лет. Было время, когда наш журнал состоял в тесном контакте со своим британским «тезкой»: в 1987 г. Академией наук СССР и Лондонским королевским обществом был подписан Протокол о развитии научного сотрудничества между СССР и Великобританией, один из пунктов которого непосредственно касался «Природы» и «Nature». Сотрудничество журналов выражалось в регулярном обмене материалами для публикаций. Тогдашний главный редактор «Nature» Джон Мэддокс часто бывал в Советском Союзе и в каждый из своих приездов навещал редакцию «Природы». На посту главного редактора он находился в течение 22 лет (с 1966 по 1973 г. и с 1980 по 1995 г.), в том числе и в год 100-летия журнала. Вот как сам он рассказывал о «Nature»:

Наш журнал основан в 1869 г. по инициативе Томаса Гексли. И в те далекие годы это тоже было еженедельное издание, правда, в основном сообщавшее о событиях такого рода, как прилет кукушки в Сассекс. Теория эволюции в те годы привлекала особое внимание, и наблюдения за живой природой

были весьма популярны. В конце XIX в. Джозеф Джон Томсон, которого теперь хорошо знают даже школьники, почему-то написал статью не о раннем прилете кукушки в Кембридж, а о своем открытии электрона. Началась эпоха великих открытий в физике, и мы стали печатать оригинальные научные сообщения. Со временем их уровень поднялся так высоко, что открыл многим авторам путь к Нобелевским премиям. Ныне «Nature» занимает особое положение между научными и научно-популярными журналами. Это синтез научной газеты, научно-популярного и научного журналов.

К юбилею «Nature» был выпущен специальный номер, в котором редакция журнала подвела некоторые итоги своей работы. На обложке юбилейного выпуска — более 88 000 статей, опубликованных в журнале с 1900 г. Они представлены разноцветными и разноразмерными точками: цвет точки означает принадлежность статьи к определенной научной дисциплине, размер точки отражает количество цитирований соответствующей статьи.

Мы от всей души поздравляем журнал «Nature» со 150-летием!

Редакция журнала «Природа»

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

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

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

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

ПРИРОДА

11/2019

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

Ответственный секретарь
Е.А.Кудряшова

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

Литературный редактор
Е.Е.Жукова

Заведующая редакцией
И.Ф.Александрова

Перевод содержания
Т.А.Кузнецова

Графика, верстка:
С.В.Усков

Подписной индекс: 70707
Дата выхода в свет: 26.11.2019
Формат 60×88 1/8. Цифровая печать
Усл. печ. л. 10.0. Уч. изд. л. 10.2
Бум. л. 5
Тираж 1000 экз.
Цена свободная
Заказ 72
Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»
Адрес: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 90
По вопросам публикации материалов:
тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4171),
e-mail: priroda@naukaran.com
По вопросам сотрудничества:
тел.: (495) 276-77-35 (доб. 4301 или 4291),
e-mail: journals@naukaran.com
Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука»
Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., 6.

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом Совета министров СССР по печати 13 декабря 1990 г.

Свидетельства о регистрации №1202 и ПИ №1202.

Все права защищены. Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

12+

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

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

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.

Стоимость полугодового комплекта (3 номера) 750 руб.

Стоимость 1 номера 400 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

ул. Профсоюзная, 90, к. 423

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1800 руб.

Стоимость 1 номера 500 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495)276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

ул. Профсоюзная, 90, к. 416

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость полугодового комплекта (6 номеров) 1500 руб.

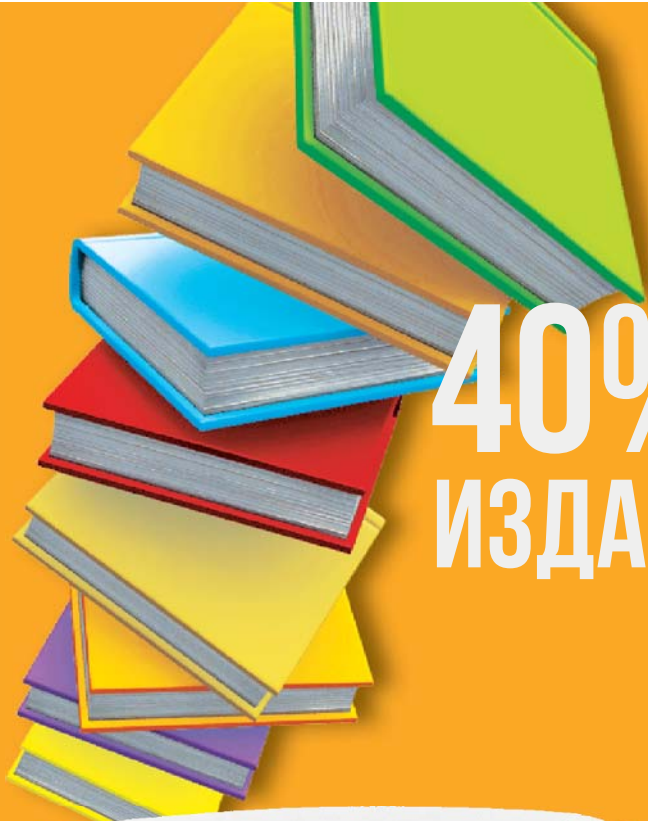
Стоимость 1 номера 500 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7(495) 362-57-66

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а



40% НА КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

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

BOOK SALE

ЕЩЁ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

Реклама

акция распространяется
в интернет-магазине naukabooks.ru

