



*Vestnik of Geosciences*  
**Вестник геонаук**

Июль  
July  
2020,  
№ 7 (307)

**Главный редактор**

А. М. Асхабов

**Chief Editor**

A. M. Askhabov

**Редакционный совет**

*А. И. Антошкина*, Сыктывкар, Россия  
*М. А. Т. М. Брокманс*, Тронхейм, Норвегия  
*И. Н. Бурцев*, Сыктывкар, Россия  
*Д. А. Бушнев*, Сыктывкар, Россия  
*Ю. Л. Войтеховский*, Санкт-Петербург, Россия  
*А. Д. Гвишиани*, Москва, Россия  
*И. В. Козырева*, Сыктывкар, Россия  
*М. Комак*, Любляна, Словения  
*В. А. Коротеев*, Екатеринбург, Россия  
*С. В. Кривовичев*, Санкт-Петербург, Россия  
*С. К. Кузнецов*, Сыктывкар, Россия  
*М. Мартинс*, Ору-Прету, Бразилия  
*Т. П. Майорова*, Сыктывкар, Россия  
*Ж. К. Мелгарехо*, Барселона, Испания  
*Ф. Мон*, Пекин, Китай  
*П. Мянник*, Таллин, Эстония  
*А. М. Пыстин*, Сыктывкар, Россия  
*К. М. Соджа*, Гамильтон, Нью-Йорк, США  
*О. В. Удоратина*, Сыктывкар, Россия  
*М. А. Федонкин*, Москва, Россия

**Editorial Board**

*Anna I. Antoshkina*, Syktyvkar, Russia  
*Maarten A.T.M. Broekmans*, Trondheim, Norway  
*Igor N. Burtsev*, Syktyvkar, Russia  
*Dmitry A. Bushnev*, Syktyvkar, Russia  
*Yury L. Voytekhovsky*, Saint Petersburg, Russia  
*Alexey D. Gvishiani*, Moscow, Russia  
*Irina V. Kozyreva*, Syktyvkar, Russia  
*Marko Komac*, Ljubljana, Slovenia  
*Viktor A. Koroteev*, Ekaterinburg, Russia  
*Sergey V. Krivovichev*, Saint Petersburg, Russia  
*Sergey K. Kuznetsov*, Syktyvkar, Russia  
*Maximiliano de Souza Martins*, Ouro Preto, Brazil  
*Tatyana P. Mayorova*, Syktyvkar, Russia  
*Joan Carles Melgarejo*, Barcelona, Spain  
*Fancong Meng*, Beijing, China  
*Peep Männik*, Tallinn, Estonia  
*Alexander M. Pystin*, Syktyvkar, Russia  
*Constance M. Soja*, Hamilton, NY, USA  
*Oksana V. Udoratina*, Syktyvkar, Russia  
*Mikhail A. Fedonkin*, Moscow, Russia

**Редакционная коллегия**

*А. И. Антошкина*, *Т. М. Безносова* (ответственный секретарь), *И. Н. Бурцев*, *Д. А. Бушнев*, *И. В. Козырева*, *О. Б. Котова* (заместитель главного редактора), *С. К. Кузнецов*, *Т. П. Майорова*, *А. М. Пыстин*, *О. В. Удоратина*

**Editorial team**

*A. I. Antoshkina*, *T. M. Beznosova* (Executive Secretary),  
*I. N. Burtsev*, *D. A. Bushnev*, *I. V. Kozyreva*,  
*O. B. Kotova* (Deputy Chief Editor), *S. K. Kuznetsov*,  
*T. P. Mayorova*, *A. M. Pystin*, *O. V. Udoratina*

**Технический редактор**

*Г. Н. Каблис*

**Technical Editor**

*G. N. Kablis*

**Заведующий редакцией**

*Т. А. Некучаева*

**Managing Editor**

*T. A. Nekuchaeva*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году академиком Н. П. Юшкиным.

**Предыдущее название:**

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ журнала (2018) – 0,360



**SCIENTIFIC JOURNAL**

Monthly issued. Founded in 1995 by Academician N. P. Yushkin.

**Former title:**

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI  
impact factor (2018) – 0.360

## Содержание

## Content

Научные статьи	Scientific articles
О соответствии распределения микроэлементов в составе современных бактерий закону периодичности космогеохимической распространенности химических элементов <i>А. В. Кокин, В. И. Силаев, Н. В. Павлович, Д. В. Киселёва, А. В. Слюсарь</i> .....3	Correspondence of the distribution of microelements in the composition of modern bacteria to the law of periodicity of the cosmogeo-chemical distribution of chemical elements <i>A. V. Kokin, V. I. Silaev, N. V. Pavlovich, D. V. Kiseleva, A. V. Slyusar</i> .....3
Глобальная петрология по данным о горячей гетерогенной аккреции Земли <i>В. С. Шкодзинский</i> .....9	Global petrology on data about hot heterogeneous accretion of the Earth <i>V. S. Shkodzinskiy</i> .....9
Применение метода моделирования по типу Монте-Карло для оценки погрешностей <sup>210</sup> Pb-датирования торфяных отложений Европейской Субарктики России (на примере Архангельской области) <i>Е. Ю. Яковлев, А. А. Очеретенко, Р. К. Спилов, Е. В. Мищенко, Е. В. Жуковская</i> .....18	Application of Monte Carlo-type modeling method to estimate <sup>210</sup> Pb errors in dating of peat deposits of the European Subarctic of Russia (on the example of Arkhangelsk region) <i>E. U. Yakovlev, A. A. Ocheretenko, R. K. Spirov, E. V. Mishchenko, E. V. Zhukovskaya</i> .....18
Из опыта преподавания. V. Федоровские параллелоэдры <i>Ю. Л. Войтеховский</i> .....29	From teaching experience. V. Fedorov's parallelohedra <i>Yu. L. Voytekhovsky</i> .....29
История стратиграфического расчленения девонских отложений на Среднем Тимане <i>И. Х. Шумилов, О. П. Тельнова</i> .....32	History of stratigraphy partition of Devonian sediments in Middle Timan <i>I. Kh. Shumilov, O. P. Tel'nova</i> .....32

Хроника, события, факты	Chronicle, events, facts
Геология рифов — 2020 <i>Итоги</i> .....37 <i>Варсановьева: 130 лет со дня рождения</i> .....39	Reef Geology — 2020 <i>Summary</i> .....37 <i>Varsanofyeva: 130th birth anniversary</i> .....39
Алексей Иевлев (к 60-летию со дня рождения).....42	Alexey Iyevlev (60th birth anniversary).....42

Правила  
оформления  
статей



Vestnik  
article  
Formatting

[geo.komisc.ru/vestnik/authors](http://geo.komisc.ru/vestnik/authors)



## О СООТВЕТСТВИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ СОВРЕМЕННЫХ БАКТЕРИЙ ЗАКОНУ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОСМОГЕОХИМИЧЕСКОЙ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. В. Кокин<sup>1</sup>, В. И. Силаев<sup>2</sup>, Н. В. Павлович<sup>3</sup>, Д. В. Киселёва<sup>4</sup>, А. В. Слюсарь<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Ростов-на-Дону; alex@avkokin.ru

<sup>2</sup> Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; silaev@geo.komisc.ru

<sup>3</sup> Ростовский противочумный институт Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону

<sup>4</sup> Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург

<sup>5</sup> Ростовская клиническая больница Южного окружного МЦ России, Ростов-на-Дону

На основе изучения состава 8 штаммов современных бактерий (*Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* 0139, *Vibrio cholerae* E1tor, *Francisella. Tularensis* subsp. *holarctica*, *Staphylococcus aureus*) высокочувствительным методом ИСП-МС впервые установлено соответствие распространённости в них микроэлементов фундаментальному закону атомного распределения в Солнечной системе и земной коре. Это доказывает факт распространения на земное живое вещество универсального космогеохимического кода и свидетельствует в пользу теории о возникновении жизни в результате естественной эволюции первичного космического вещества. Выявленная в бактериях корреляция между сидерофильными металлами — естественными регуляторами синтеза белков, включая РНК и ДНК, — отражает законсервированные признаки первородства живого вещества на базальтоидном субстрате. Подтверждением этого являются выявленные недавно факты образования предбиологических форм органоидов в газовой-пепловых продуктах современных вулканов. Очень вероятно, что выявленное фундаментальное свойство современных бактерий унаследовано от первичных прокариот, появившихся на Земле 4 млрд лет назад, и, следовательно, представляет собой древнейший код живого вещества.

**Ключевые слова:** современные бактерии, микроэлементы, первичная распространённость в солнечной системе и земной коре, древнейший код живого вещества.

## CORRESPONDENCE OF THE DISTRIBUTION OF MICROELEMENTS IN THE COMPOSITION OF MODERN BACTERIA TO THE LAW OF PERIODICITY OF THE COSMOGEO-CHEMICAL DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS

A. V. Kokin<sup>1</sup>, V. I. Silaev<sup>2</sup>, N. V. Pavlovich<sup>3</sup>, D. V. Kiseleva<sup>4</sup>, A. V. Slyusar<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Rostov-on-Don

<sup>2</sup> Institute of Geology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar,

<sup>3</sup> FKUZ Rostov Antiplague Institute of Rospotrebnadzor, Rostov-on-Don

<sup>4</sup> Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg

<sup>5</sup> Rostov Clinical Hospital of the Southern District MC of Russia, Rostov-on-Don

Based on the study of the composition of 8 strains of modern bacteria (*Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* 0139, *Vibrio cholerae* E1tor, *Francisella. Tularensis* subsp. *holarctica*, *Staphylococcus aureus*), a highly sensitive ICP-MS method was used to establish for the first time that the abundance of trace elements in them in the fundamental law of atomic distribution the earth's crust. This proves the fact of the spread of the universal cosmogeochemical code to the living matter of the earth and testifies in favor of the theory of the origin of life as a result of the natural evolution of the primary cosmic matter. The correlation revealed in bacteria between siderophilic metals — natural regulators of the synthesis of proteins, RNA and DNA — reflects the conserved signs of primogeniture of living matter on a basalt substrate. This is confirmed by the recently revealed facts of the formation of prebiological forms of organelles in the gas-ash products of modern volcanoes. It is very likely that the revealed fundamental property of modern bacteria is inherited from the primary prokaryotes that appeared on the Earth 4 billion years ago and, therefore, is the most ancient code of living matter.

**Keywords:** modern bacteria, microelements, primary abundance in the solar system and the earth's crust, the most ancient code of living matter.

### Введение

Микроорганизмы — уникальные одноклеточные биологические системы, наиболее древние и неповторимо стабильные в истории Земли. При этом они со-

держат все фундаментальные компоненты живого вещества, а именно белки, липиды, углеводы, ДНК и РНК, а также практически все жизненно необходимые микроэлементы (эссенциалы). Последние участвуют

**Для цитирования:** Кокин А. В., Силаев В. И., Павлович Н. В., Киселёва Д. В., Слюсарь А. В. О соответствии распределения микроэлементов в составе современных бактерий закону периодичности космогеохимической распространённости химических элементов // Вестник геонаук. 2020. 7(307). С. 3—8. DOI: 10.19110/geov.2020.7.1.

**For citation:** A. V., Silaev V. I., Pavlovich N. V., Kiseleva D. V., Slyusar A. V. Correspondence of the distribution of microelements in the composition of modern bacteria to the law of periodicity of the cosmogeo-chemical distribution of chemical elements Kokin. Vestnik of Geosciences. 2020. 7(307). С. 3—8. DOI: 10.19110/geov.2020.7.1.

в регуляризации осмотического давления (функционирование клеточных мембран), pH- и Eh-условий среды, входят в состав ферментов, витаминов, структурных компонентов клеток, влияют на жизнеспособность и механизм размножения. При этом пропорции между микроэлементами заметно варьируются даже в пределах одного вида бактерий. Нами, вероятно, впервые осуществлено комплексное физико-химическое и биоизотопно-геохимическое исследование современных бактерий разной степени патогенности. В настоящей статье обсуждается космогеохимический аспект распределения в бактериях широкой ассоциации микроэлементов.

### Объекты и метод исследований

Объектами биогеохимических исследований послужили штаммы грамотрицательных и грамположительных бактерий, выращенных в Ростовском противочумном институте Роспотребнадзора [8]: *Escherichia coli* (штамм 1015); *Vibrio cholerae* O139 (16077); *Vibrio cholerae* O139 (17918); *Vibrio cholerae* Eltor (19667); *Vibrio cholerae* Eltor (19430); *Francisella tularensis* subsp. *holarctica* (15 НИИЭГ); *Francisella tularensis* subsp. *holarctica* (503); *Staphylococcus aureus* (12617) (рис. 1). Эксперименты по выращиванию штаммов проводились в однообразных условиях с использованием стандартных питательных сред. Из суточных агаровых



Рис. 1. Внешний вид исследованных штаммов современных бактерий

Fig. 1. Appearance of the studied strains of modern bacteria



культур в физиологическом растворе (рН = 7) готовились бактериальные суспензии по оптическому стандарту ( $10^9$  млн клеток/мл), которые потом по 0.5 мл засеивались на 5 чашек Петри с соответствующей питательной средой. Выросшие на трети сутки бактериальные культуры смывались физиологическим фосфатным буфером с рН = 7.2. Бактериальная суспензия дважды отмывалась в физрастворе с помощью центрифугирования. Клеточная масса переносилась в термостойкие боросиликатные стеклянные бюксы. Озоление культур осуществлялось при температуре +200 °С в течение часа. Высушенные препараты отделялись, и кварта образцов проверялась на специфическую стерильность.

После получения отрицательных результатов на живучесть бактерий препараты взвешивались и передавались на анализ. Микроэлементы в бактериях определялись в Институте геологии и геохимии УрО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) после кислотного вскрытия в блоке чистых помещений (6-й, 7-й классы чистоты).

### Результаты анализа

Проведенный анализ выявил в составе исследованных штаммов бактерий 44 микроэлемента (см. таблицу), в число которых входят 9 элементов-эссенци-

Содержания микроэлементов в современных бактериях, г/т  
The content of trace elements in modern bacteria, ppm

Элементы / Elements	Объекты / Objects							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Li	0.043	н. о. / n. a.	0.819					
Sc	н. о. / n. a.	«	«	«	0.022	«	«	н. о. / n. a.
Ti	«	«	«	«	126.7	«	«	«
V	«	«	«	«	10.75	«	«	0.67
Cr	0.62	«	«	3.13	39.92	0.13	1.17	3.22
Mn	2.35	1.88	2.15	1.93	23.37	0.8	1.01	3.88
Co	0.042	0.014	0.008	0.015	1.045	н. о. / n. a.	0.014	0.085
Ni	0.396	5.734	2.003	1.005	17.107	1.927	0.855	2.738
Cu	1.501	5.536	2.661	2.204	83.303	6.242	4.714	6.365
Zn	33.83	16.62	15.06	21.01	42.66	13.62	16.67	10.73
Ga	0.127	0.07	0.073	0.047	0.534	0.169	0.207	0.277
As	0.886	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	1.843	0.320	0.332	0.582
Se	1.025	«	«	«	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	2.994
Rb	0.721	0.14	0.087	0.025	2.968	0.226	0.794	1.147
Sr	12.168	4.759	3.707	3.967	2.677	1.627	1.537	36.25
Y	0.028	0.041	0.028	0.027	0.173	0.025	н. о. / n. a.	0.064
Zr	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	0.334	н. о. / n. a.	«	н. о. / n. a.
Nb	0.025	«	«	«	0.13	«	«	«
Mo	0.453	«	«	«	0.137	«	«	0.735
Ag	0.2	0.854	0.338	0.121	0.095	0.269	0.187	0.425
Cd	0.112	0.19	0.277	0.161	0.205	0.278	0.205	0.128
Sn	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	0.022	н. о. / n. a.			
Sb	0.126	«	«	н. о. / n. a.	0.081	«	0.01	«
Cs	0.007	«	«	«	0.027	«	0.003	0.014
Ba	3.161	19.8	13.09	14.68	13.60	7.38	8.37	10.95
La	0.039	н. о. / n. a.	0.083					
Ce	0.069	«	«	«	«	«	«	0.254
Pr	0.016	«	«	«	«	«	«	0.053
Nd	0.076	«	«	«	«	«	«	0.267
Sm	н. о. / n. a.	«	«	«	«	«	«	0.072
Eu	«	«	«	«	«	«	«	0.032
Gd	«	«	«	«	«	«	«	0.074
Tb	«	«	«	«	«	«	«	0.010
Dy	«	«	«	«	«	«	«	0.040
Ho	«	«	«	«	«	«	«	0.008
Er	«	«	«	«	«	«	«	0.017
Tm	«	«	«	«	«	«	«	0.002
Yb	«	«	«	«	«	«	«	0.014
Lu	«	«	«	«	«	«	«	0.002
W	0.027	н. о. / n. a.	0.077	0.084	0.108	н. о. / n. a.	0.155	0.424
Tl	0.028	«	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	0.017	«	0.008	0.012
Pb	1.155	2.768	1.691	1.971	2.043	0.457	0.268	1.334
Bi	0.021	0.544	0.558	0.404	0.261	н. о. / n. a.	н. о. / n. a.	0.024



U	н. о. / п. а.	н. о. / п. а.	н. о. / п. а.	н. о. / п. а.	0.027	«	0.004	0.128
Сумма элементов-эссенциалов (Э) The sum of the elements of the essentials (E)	38.403	21.116	18.011	23.692	50.212	15.17	18.456	18.099
Сумма элементов физиоактивных (ФА) The sum of the elements of the physio-logically active (FA)	20.569	37.834	23.72	27.005	182.198	18.3	17.894	65.46
Сумма элементов-антибионтов (АБ) Sum of items antibiotics (AB)	0.28	0	0.077	0.084	0.255	0	0.163	1.364
Общая сумма Total amount	59.252	58.95	41.808	50.781	232.665	33.47	36.513	84.923
Э/АБ E/AB	137.15	не опр. n. d.	233.91	282.05	196.91	не опр. n. d.	113.23	13.27

*Примечание.* «н. о.» — не обнаружено, «не опр.» — не определялось. Объекты исследований: 1— *Escherichia coli*, штамм 1015; 2—5 — *Vibrio cholerae*, штаммы соответственно 16077, 17918, 19667, 19430; 6, 7 — *Francisella tularensis*, штаммы соответственно 15 НИИГА и 503; 8 — *Staphylococcus aureus*, штамм 12617.

*Note.* «н. а.» — not found, «n. d.» — not determined. Objects of research: 1— *Escherichia coli*, strain 1015; 2—5 — *Vibrio cholerae*, strains respectively 16077, 17918, 19667, 19430; 6, 7 — *Francisella tularensis*, strains respectively 15 NIIGA and 503; 8 — *Staphylococcus aureus*, strain 12617.

алов (Ag, As, Bi, Cd, Mo, Pb, Rb, Se, Zn) — Э; 17 физиоактивных (Ba, Ga, V, Y, Co, Cu, Li, Mn, Ni, Sb, Sn, Sr, Ti, Cr, Cs, Zr, U) — ФА; 18 элементов-антибионтов (W, Ln, Nb, Sc, Tl) — АБ. Валовое содержание микроэлементов варьируется в пределах 33—233 ( $74.79 \pm 65.85$ ) г/т, но в большинстве штаммов оно ограничивается гораздо более узким диапазоном (30—60 г/т). Единичные исключения из этого диапазона представлены штаммом золотистого стафилококка (около 85 г/т) и еще более аномальным штаммом 19430 холерного вибриона (более 232 г/т). Общая последовательность возрастания валового содержания микроэлементов в культурах исследованных бактерий имеет следующий вид: *Francisella tularensis* < *Vibrio cholerae* 0139 < *Escheria coli* < *Staphylococcus aureus* < *Vibrio cholera* Eltor.

В балансе микроэлементов в большинстве штаммов бактерий физиоактивные элементы преобладают над элементами-эссенциалами при исчезающе малой роли элементов-антибионтов. Исключение составляет штамм *Escheria coli*, в котором заметно преобладают элементы-эссенциалы. Несколько другую картину показывают удельные (в расчете на один элемент) концентрации. Наибольшей удельной концентрацией характеризуются элементы-эссенциалы (1.685—5.579, в среднем 2.821 г/т), им несколько уступают физиоактивные элементы (1.052—10.718, в среднем 1.771 г/т), а элементы-антибионты отличаются от первых двух групп на два порядка меньшей удельной концентрацией (0—0.076, в среднем 0.015 г/т). Отношение групповых концентраций Э/АБ изменяется от 13.27 в штамме золотистого стафилококка до 282.05 в штамме одного из холерных вибрионов, составляя в среднем 162.75, что характерно именно для живого вещества. В ходе фоссилизации отмерших организмов пропорция между микроэлементами-эссенциалами и антибионтами неуклонно изменяется в пользу последних.

Особое значение имеет вопрос неоднородности обогащения бактерий микроэлементами, который

можно рассмотреть на примере холерного вибриона (*Vibrio cholerae*) и возбудителя туляремии (*Francisella tularensis*). В обоих случаях упомянутая неоднородность регистрируется вполне отчетливо, но в разных масштабах. В холерном вибрионе для 75 % микроэлементов значения коэффициентов вариации лежат в пределах 100—250 %, а в возбудителе туляремии таких элементов только 40 %. Да и размах колебаний значений коэффициентов вариации во втором случае демонстрирует более узкий интервал в 100—150 %. Получается, что холерный вибрион раз в два более неоднороден по распределению микроэлементов, чем возбудитель туляремии. При этом в обоих случаях среди групп элементов именно эссенциалы характеризуются наиболее стабильным и равномерным распределением (6—52 %).

### Обсуждение результатов

Средние содержания элементов в Солнечной системе, по оценке Г. Зюсса и Г. Юри [4], и кларки земной коры [3] довольно строго подчиняются закону периодичности ядерных свойств и концентраций химических элементов относительно их атомных масс [1, 2, 10]. Считается [7], что в условиях геохимической дифференциации подчиненность этому закону распределения элементов должна сохраняться, независимо от колебаний их валовых содержаний.

Полученные нами аналитические данные и соответствующие расчеты показали, что распределения атомных масс в Солнечной системе и земной коре прямо коррелируются с вероятностью 65—70 %, а атомные распределения микроэлементов в бактериях коррелируются с таковыми в Солнечной системе и земной коре с вероятностью соответственно 60—64 и 55—64 % (оценка сделана по коэффициентам корреляции). Следовательно, в современных микроорганизмах, несмотря на значительные колебания валового содержания микроэлементов и пропорций между ни-



ми, статистически реализуется единый для космоса и Земли фундаментальный закон периодичности атомной распространенности элементов. Принципиально важно, что этому закону подчиняются и средние содержания микроэлементов в бактериях (рис. 2), и содержания в рядовых конкретных штаммах (рис. 3), и в штаммах, аномально обогащенных микроэлементами (рис. 4). Некоторое отклонение от этого правила обнаруживается лишь у эссенциала Se, но это может быть обусловлено неточностью оценки его содержания в Солнечной системе.

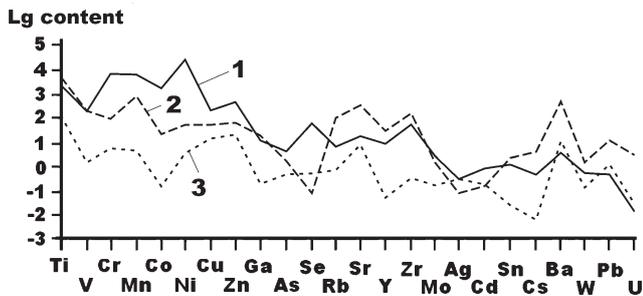


Рис. 2. Логарифмы средних содержаний микроэлементов в исследованных бактериях (1), в земной коре (2) и Солнечной системе (3) по отношению к  $\text{Si} = 10^6$  [4]

Fig. 2. Logarithms of average trace elements in the studied bacteria (1), in the earth's crust (2) and the solar system (3) with respect to  $\text{Si} = 10^6$  [4]

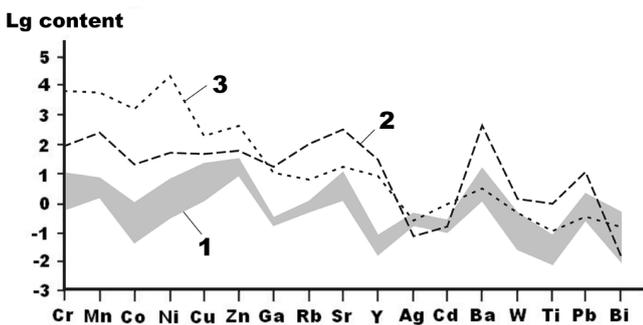


Рис. 3. Логарифмы содержаний элементов в конкретных штаммах исследованных бактерий (1), в земной коре (2) и Солнечной системе (3)

Fig. 3. Logarithms of the contents of elements in specific strains of the studied bacteria (1), the Earth's crust (2) and the Solar system (3)

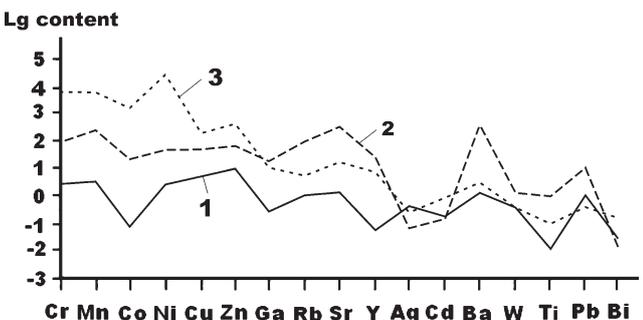


Рис. 4. Логарифмы содержаний элементов в *Staphylococcus aureus* (1), в земной коре (2) и Солнечной системе (3)

Fig. 4. Logarithms of the contents of elements in *Staphylococcus aureus* (1) the earth's crust (2) and Solar system (3)

## Заключение

Результаты проведенных исследований микроэлементного состава современных бактерий достаточно убедительно свидетельствуют о значительной вероятности реализации в земном живом веществе единого космогеохимического кода, что говорит в пользу теории о возникновении жизни в результате естественной эволюции первичной космической материи. При этом выявленные для бактерий положительные корреляции между сидерофильными металлами — Cr, Mn, Ni — на уровне 94–99 % и Cu, Zn на уровне 74 % являются сугубо биологическим признаком, поскольку отражают участие этих элементов в электрофильном катализе и переносе электронов при образовании белков, РНК, ДНК [5, 6, 13]. Такой ассортимент регуляторных микроэлементов объясняется тем, что на рубеже зарождения жизни (4–3.9 млрд лет) именно эти химические элементы обогащали первичную, еще геохимически не дифференцированную оболочку Земли. То есть первичное зарождение живого вещества с наибольшей вероятностью могло происходить на базальтоидном субстрате. Сохранение ассортимента микроэлементов-регуляторов в современных бактериях свидетельствует о проявлении в микроорганизмах устойчивой консервативности на протяжении всей геологической истории. Подтверждение этому можно видеть в открытых недавно предбиологических формах органоидов, образующихся в газовой-пепловой среде андезитобазальтовых продуктов извержения современных вулканов [9, 12]. Не исключено, что обнаруженные в продуктах вулканизма органоиды могут рассматриваться как абиогенная предпосылка для возникновения живых организмов [11].

Из результатов проведенных нами исследований следует, что атомное распределение химических элементов в современных бактериях не только соответствует первичному космогеохимическому распределению элементов, но, в принципе, коррелируется и с периодическим законом изменения свойств химических элементов. Очень вероятно, что выявленное фундаментальное свойство современных бактерий унаследовано от первичных прокариот, появившихся на Земле 4 млрд лет назад, и, следовательно, представляет собой древнейший код живого вещества.

*ИСП-МС-анализы выполнены в ЦКП УрО РАН «Геоаналитик» при поддержке темы № АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН.*

*За поддержку и ценные советы авторы благодарят докторов г.-м. наук А. И. Антошкину и Ю. Л. Войтеховского.*

## Литература

1. Браунлоу А. Х. Геохимия. М.: Недра, 1984. 463 с.
2. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М.: Наука, 1987. 430 с.
3. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
4. Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.



5. Волькенштейн М. В., Догондзе Р. Р., Мадумаров А. К., Урушадзе З. Д., Харкац Ю. И. К теории ферментативного катализа // Молекулярная биология. 1972. Т. 6. Вып. 3. С. 431—439.

6. Диксон М. Ферменты. М.: Мир, 1982. Т. 1—2. 808 с.

7. Кокин А. В. Подobie в последовательности распределения содержаний элементов-примесей в минералах их первичной космохимической распространенности // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Пермь: Изд-во Пермского университета, 2018. Вып. 21. С. 347—361.

8. Павлович Н. В., Кокин А. В., Силаев В. И., Аронова Н. В., Цимбалистова М. В., Киселёва Д. В., Слюсарь А. В. Сравнительный анализ состава микроэлементов у бактерий различных видов // Актуальные вопросы изучения особо опасных и природно-очаговых болезней: Материалы науч.-практ. конф. Ростов н/Д, 2019. С. 309—313.

9. Силаев В. И., Аникин Л. П., Шанина С. Н., Карпов Г. А., Васильев Е. А., Шуйский А. С., Смолева И. В., Киселёва Д. В., Мартирисян О. В., Вергасова Л. П. Абиогенные конденсированные органические полимеры в продуктах современного вулканизма в связи с проблемой возникновения жизни на Земле. Сыктывкар: Геопринт, 2018. 128 с.

10. Ферсман А. Е. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. III. 802 с.

11. Юшкин Н. П. Минеральный мир и биосфера: Из программного доклада на IV международном семинаре «Минералогия и жизнь» // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2007. № 6. С. 2—5.

12. Silaev V., Anikin L., Petrovsky V., Karpov G. A biogenic organ polymers in products of modern volcanism // Уральский геологический журнал. 2018. № 3. С. 40—51.

13. Urushadze Z. About a Real Conceptual Frame Work for Enzyme Catalysis // Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. 2006. Vol. 173, No. 2. P. 421—424.

## References

1. Branlou A. H. *Geohimiya* (Geochemistry). Moscow: Nedra, 1984, 463 p.

2. Vernadsky V. I. *Himicheskoe stroenie biosferi Zemli i ee okruzeniya* (Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment). Moscow: Nauka, 1987, 430 p.

3. Vinogradov A. P. *Srednee soderganie himicheskikh elementov v gornih porodah* (Average content of chemical elements in rocks). *Geohimiya*, 1962, No. 7, pp. 555—571.

4. Voitkevich G. V., Kokin A. V., Miroshnichenko A. E., Prohorov V. G. *Spravochnik po geohimii* (Handbook of geochemistry). Moscow: Nedra, 1990, 480 p.

5. Dikson M. *Fermenti* (Ferments). Moscow: Mir, 1982, V. 1—2, 808 p.

6. Kokin A. V. *Podobie v posledovatelnosti raspredeleniya sodergany elementov-primesei v mineralah ih pervichnoy kosmohimicheskoy rasprostranennosti. Problemi mineralogii, petrografii i metallogenii: Nauchnie chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo* (Comparative analysis of the composition of microelements in bacteria of various types. Actual problems of studying especially dangerous and natural focal diseases: Materials of the scientific and practical conference). Perm: Perm University, 2018, 21, pp. 347—361.

7. Pavlovich N. V., Kokin A. V., Silaev V. I., Aronova N. V., Tsimbalistova M. V., Kiseleva D. V., Slyusar A. V. *Sravnitelnyy analiz sostava mikroelementov u bakteriy razlichnykh vidov* (Comparative analysis of microelement composition in bacteria). Proceedings of conference. Rostov-on-Don, 2019, pp. 309—313.

8. Silaev V. I., Anikin L. P., Shanina S. N., Karpov G. A., Vasiliev E. A., Shuyskiy A. S., Smoleva I. V., Kiseleva D. V., Martirosoyan O. V., Vergasova L. P. *Abiogennoe kondensirovaniye organicheskikh polimerov v produktakh sovremennogo vulkanizma v svyazi s problemoy boznikoveniya gizni na Zemle* (Abiogenic condensed organic polymers in the products of modern volcanism in connection with the problem of the origin of life on Earth). Syktvykar: Geoprint, 2018, 128 p.

9. Fersman A. E. *Izbrannie trudi* (Selected Works). Moscow: AS USSR, 1955, V. III, 802 p.

10. Yushkin N. P. *Mineralny mir i biosfera. Iz programmno-go dollada na IV megdunarodnom seminare «Mineralogiya I gizn»* (Mineral world and biosphere. From the program report at the IV international seminar "Mineralogy and Life"). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2007, No. 6, pp. 2—5.

11. Silaev V., Anikin L., Petrovsky V., Karpov G. A biogenic organ polymers in products of modern volcanism. Ural geological journal, 2018, No. 3, pp. 40—51.

12. Urushadze Z. About a Real Conceptual Frame Work for Enzyme Catalysis. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., 2006, V. 173, No. 2, pp. 421—424.

Поступила в редакцию / Received 15.07.2020

**ГЛОБАЛЬНАЯ ПЕТРОЛОГИЯ ПО ДАННЫМ О ГОРЯЧЕЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ АККРЕЦИИ ЗЕМЛИ****В. С. Шкодзинский**Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Якутск  
*shkodzinskiy@diamond.ysn.ru*

Накопленные к настоящему времени геологические и планетологические данные противоречат господствующей в петрологии гипотезе холодной гомогенной аккреции Земли и свидетельствуют о ее горячем гетерогенном образовании. При таком происхождении однозначно решаются все дискуссионные генетические проблемы петрологии. Ядро возникло раньше мантии под влиянием магнитных сил. Большая мощность этих сил обусловила большой импактный разогрев ядра по сравнению с мантией и объясняет возникновение в ней конвекции. Возрастание импактного тепловыделения по мере аккреции мантии привело к существованию в ней обратного геотермического градиента и к отсутствию конвекции и современных геодинамических обстановок в раннем докембрии. Они появились в конце протерозоя под влиянием прогрева мантии ядром. Всплывание прогретых нижних частей мантии обусловило возникновение преимущественно тектоногенерирующих суперплюмов, а крупных тел затвердевших расплавов магматического океана — магмогенерирующих основных плюмов. Кристаллизация кислого слоя магматического океана обусловила образование кислой кристаллической коры и раннедокембрийских комплексов. Подъем остаточных расплавов из кристаллизовавшихся различных слоев океана привел к эволюции магматизма древних платформ от кислого и основного к щелочно-ультраосновному и кимберлитовому. Фрикционно-декомпрессионное переплавление дифференциатов магматического океана — причина океанического, субдукционного и коллизионного магматизма.

**Ключевые слова:** *генезис геосфер, магм и раннедокембрийских комплексов.***GLOBAL PETROLOGY ON DATA ABOUT HOT HETEROGENEOUS ACCRETION OF THE EARTH****V. S. Shkodzinskiy**

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch RAS. Yakutsk

Modern geological and planetary data contradict to hypothesis of cold homogenous of the Earth and shown it hot heterogeneous origin. This genesis allows convincingly to decide discussion genetic problems. The core was formed before the mantle as a result of magnetic force influence. Big power magnetic forces caused big impact heat of the core and origin of convection in the mantle. Rise of impact heat the mantle during accretion caused origin of opposite thermal gradient and absence of convection during Precambrian. Convection was formed in Proterozoic as a result of heating the mantle by the core. Rise of the mantle substance, heated by the core, resulted in big superplumes, oceans, subduction and collision areas. Rise of crystallized melts of the synaccretion magma ocean resulted in plumes and basic magmas. Crystallization of acid layer of the magma ocean resulted in crystalline crust and Precambrian complexes. Rise of residual melts from different layers of magma ocean caused evolution of magmas of ancient platform from acid to carbonatite and kimberlite. Magmas of ocean, subduction and collision areas are the result of friction and decompression melting of the magma ocean differentiates.

**Keywords:** *genesis of geospheres, magmas and Precambrian complexes.***Введение**

Для решения разнообразных задач геологии важно иметь правильные представления о природе глубинных геологических процессов. В связи с недоступностью для непосредственного наблюдения представления о них во многом основываются на гипотезе происхождения Земли. На ранней стадии исследований вследствие недостатка эмпирических данных была выдвинута максимально упрощенная гипотеза образования нашей планеты путем холодной гомогенной аккреции, то есть путем объединения относительно холодных силикатных и железных частиц протопланетного диска, количественное соотношение которых в процессе аккреции не изменялось.

Эта гипотеза была выдвинута математиком О. Ю. Шмидтом [20] на основании предположения о

захвате гравитационным полем Солнца холодного газозо-пылевого облака, из которого возникли планеты. По этой гипотезе силикатные и железные частицы сначала были перемешаны в земных недрах. В дальнейшем произошла дифференциация их по плотности с образованием железного ядра, силикатной мантии и силикатной земной коры. Ранняя история Земли принципиально не отличается от поздней, поэтому раннедокембрийские кристаллические комплексы являются метаморфизованными осадочно-вулканогенными толщами. Магмы образуются путем отделения выплавов из глубинных пород, частично подплавленных под влиянием радиогенного тепловыделения.

Гипотеза холодной гомогенной аккреции не была обоснована геологическими и планетологическими данными, поэтому постепенно вошла в грубое проти-

**Для цитирования:** Шкодзинский В. С. Глобальная петрология по данным о горячей гетерогенной аккреции Земли // Вестник геонаук. 2020. 7(307). С. 9—17. DOI: 10.19110/geov.2020.7.2.

**For citation:** Shkodzinskiy V. S. Global petrology on data about hot heterogeneous accretion of the Earth. Vestnik of Geosciences. 2020. 7(307). С. 9—17. DOI: 10.19110/geov.2020.7.2.

воречие с ними и убедительно не решила ни одну генетическую проблему. Тем не менее геологические следствия этой гипотезы до сих пор массово используются при генетических построениях. Такая ситуация приводит к большому несоответствию получаемых выводов эмпирическим данным, к ошибочности представлений о глубинных процессах и невозможности использовать их в полной мере при решении различных задач. Это было показано в ряде публикаций автора, посвященных природе раннедокембрийских геологических процессов [15, 16], происхождению магм [17], кимберлитов и алмаза [18]. В настоящей статье более детально рассмотрены эти очень крупные проблемы, а также генезис земного ядра, мантии, гидросферы, блоков самородного железа в базитах и разработана обобщенная модель происхождения и эволюции Земли. Большая сложность и актуальность этих проблем обуславливает целесообразность разработки такой обобщенной модели.

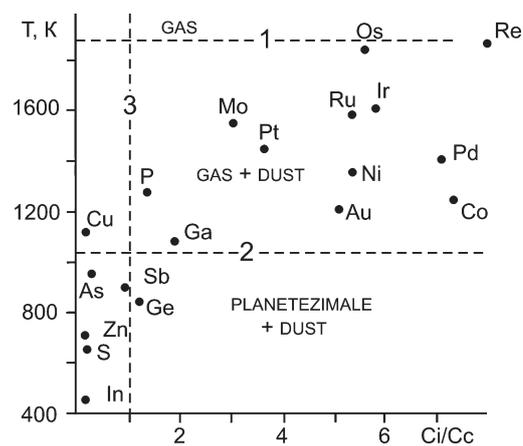
### Доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли

Расчеты показали, что выделение потенциальной энергии при аккреции Земли составляло 9000 кал/г, что способно было разогреть ее вещество до 34 000 °C [10] и указывает на горячую аккрецию. Данный факт подтверждается присутствием трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах из кимберлитов и в раннедокембрийских кристаллических комплексах, полным соответствием среднего изотопного возраста и температуры кристаллизации их различных пород последовательности образования при магматическом фракционировании [19]. Об этом же свидетельствуют проекции наиболее ранних геотермических градиентов в раннедокембрийских кристаллических комплексах в область очень высокой температуры на земной поверхности (до 1000 °C) и множество других данных.

Содержания хорошо растворимых в металлическом железе сидерофильных элементов (Ni, Co, Cu, Au и др.) в мантийных породах в десятки — сотни раз выше, чем в случае их химической равновесности с железом [10]. Это свидетельствует о том, что силикатные и железные частицы никогда не были перемешаны в недрах Земли и, следовательно, аккреция была гетерогенной. Такой вывод подтверждается на четыре порядка более высокой фугитивностью кислорода при образовании мантийных пород, чем в металлическом железе [24], а также распространением на нашей планете CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, а не CO и H<sub>2</sub>, которые должны были бы возникнуть в результате реакций восстановления [10].

### Происхождение земного ядра

Почти во всех гипотезах предполагается, что процессы аккреции происходили в основном под влиянием сил гравитационного притяжения. Но при сантиметровом размере частиц, судя по формуле всемирного тяготения, эти силы были очень малы ( $4 \cdot 10^{-10}$  Н для тел массой 0.1 кг), что подтверждается отсутствием процессов объединения тел на земной поверхности под влиянием этих сил. Между тем намагничен-



**Рис. 1.** Соотношение температуры конденсации и нормированного к углистым хондритам содержания элементов-примесей в железных метеоритах (Ci/Cc): 1 — температура начала конденсации; 2 — температура Кюри; 3 — содержание элементов в углистых хондритах [15]

**Fig. 1.** Correlation of condensation temperature and fixed to carbonaceous chondrites of content of admixtures in iron meteorites (Ci/Cc): 1 — temperature of condensation start; 2 — temperature of Kury; 3 — element contents in carbonaceous chondrites [19]

ные мелкие железные предметы быстро слипаются и остаются в сцепленном состоянии после прекращения процессов намагничивания. Как показывают расчеты, мощность этих сил для мелких частиц была в миллиарды раз выше (около 5 Н для ферромагнита массой 0.1 кг), чем гравитационных. Железные частицы в метеоритах намагничены [6]. Следовательно, аккреция железа в протопланетном диске происходила под влиянием магнитных сил после достижения в нем температуры Кюри (1043 К для чистого железа). Это подтверждается резким уменьшением в железных метеоритах содержания примесей с температурой конденсации ниже точки Кюри (линия 2 на рис. 1), связанным с замедлением процессов растворения низкотемпературных конденсатов протопланетного диска в железе после объединения его в крупные тела под влиянием магнитных сил. Важная роль магнитных сил при аккреции предполагалась П. Г. Харрисом и Д. С. Тозером [23].

После быстрого слипания железных частиц в крупные тела дальнейшее их объединение происходило с участием гравитационных сил. Импульсное тепловыделение резко возрастает с увеличением размера объединяющихся тел вследствие сокращения удельных теплотерь на излучение. Поэтому импульсный разогрев ядра при аккреции был значительно больше, чем при образовании силикатной мантии из более мелких тел под влиянием только сил гравитационного притяжения. Это объясняет на тысячи градусов более высокую температуру современного ядра по сравнению с мантией [22] и возникновение в ней тепловой конвекции вследствие постоянного подогрева ее ядром.

Причина конвекции давно является предметом дискуссии. Выдвигались самые невероятные предположения о ее природе: о высоком содержании в ядре радиоактивных компонентов, о протекании в нем



процессов аннигиляции вещества и антивещества, о существовании в нем потоков летучих и литофильных компонентов, разуплотняющих вещество мантии и вызывающих его всплывание [5, 9]. Однако состав железных метеоритов, являющихся обломками ядер мелких планет [6], противоречит этим предположениям. Участие магнитных сил в аккреции полностью объясняет высокую температуру ядра.

Мелкие железные предметы почти мгновенно слипаются после намагничивания, поэтому земное ядро должно было сформироваться очень быстро. Большая сила его гравитационного притяжения резко ускорила последующую аккрецию силикатной мантии и объясняет намного более быстрое реальное образование планет по изотопным данным (первые миллионы лет) по сравнению с расчетной длительностью аккреции под влиянием только гравитации (более миллиарда лет [20]).

### Генезис мантии

После исчерпания железных частиц в примыкающей к Протоземле части газово-пылевого диска происходило выпадение силикатных частиц под влиянием значительного гравитационного притяжения быстро образовавшегося ядра. Как показали расчеты [19], импактное плавление при падениях приводило к возникновению глобального океана магмы. По мере аккреции придонные его части кристаллизовались под влиянием возраставшего давления нагрузки образующихся его верхних частей. Кумулаты формировали породы мантии, а остаточные расплавы всплывали в верхние части океана. Образование из ранних кумулатов магматического океана объясняет преимущественно ультраосновной состав мантии, судя по геофизическим свойствам и глубинным ксенолитам в кимберлитах.

Вследствие небольшой глубины раннего магматического океана и пониженной силы тяжести на небольшой еще Протоземле придонное фракционирование при давлении менее 0,3 ГПа, судя по имеющимся экспериментальным данным [3], сначала приводило к образованию малобарических толеитовых остаточных расплавов при относительно небольшой (примерно 80—90 %) степени кристаллизации и кислых — при большей. Большая длительность малобарической стадии объясняет массовое распространение на Земле толеитов и кислых магматических пород. Возрастание температуры и глубины магматического океана по мере аккреции обусловило эволюцию остаточных расплавов к все более мафическим. Расположение их по плотности привело к возникновению слоистости в магматическом океане.

Вследствие разновременного выпадения железные и силикатные частицы не были перемешаны в земных недрах и поэтому химически не взаимодействовали между собой. Это является причиной сохранения высоких содержаний сидерофильных элементов в мантийных породах и на четыре порядка более высокой фугитивности кислорода в них по сравнению с железным ядром. По мере аккреции расплавы магматического океана и возникавшие в нем кумулаты обогащались литофильными компонентами вследствие процессов фракционирования и под влия-

нием возрастания доли низкотемпературных конденсатов протопланетного диска в выпадавшем веществе. Это объясняет значительно большее содержание литофильных компонентов в магмах, возникавших в верхних частях мантии, по сравнению с нижнемантийными.

При падении крупных планетезималей в подстилавших океан кумулатах возникали импактные углубления. Заполнявшие их придонные расплавы магматического океана быстро компрессионно затвердели, так как они оказывались при давлении выше солидусного. Это привело к образованию тел основных пород среди ультраосновных кумулатов. Объем их может достигать многих миллионов кубических километров, так как диаметр импактных бассейнов на Луне иногда превышает тысячу километров.

### Время появления и типы мантийной конвекции

Вследствие неизбежного возрастания силы притяжения по мере роста Земли и постепенного укрупнения тел в протопланетном диске масштабы импактного тепловыделения при аккреции мантии сильно возрастали. Величину этого возрастания различные исследователи оценивают в 800—3500 °С [19]. Из этого следует очень важный вывод, что на ранней Земле в мантии существовал обратный геотермический градиент и, следовательно, вопреки массово распространенным предположениям, не было общемантийной конвекции и современных геодинамических обстановок. Резкое возрастание интенсивности геологических процессов в фанерозое и постюрский возраст пород океанического дна [11] указывают, что общемантийная конвекция началась в протерозое вследствие постепенного прогрева мантии изначально очень горячим ядром. У других планет земной группы ядра значительно меньше по объему, чем у Земли. Поэтому они, видимо, не смогли полностью прогреть их мантии. Это объясняет, казалось бы, удивительный факт отсутствия на них ясных признаков существования плитной тектоники и современного магматизма.

После установления в земной мантии прямого геотермического градиента в ней началась конвекция. Существует два типа этой конвекции. Подогрев мантии ядром приводил к всплыванию ее нижних частей. Вследствие относительно небольшой разницы плотностей сильно и слабо подогретых ультраосновных кумулатов (видимо, сотые доли г/см<sup>3</sup>), судя по формуле Стокса, всплывать могли только очень большие объемы нижней мантии. Это объясняет возникновение огромных суперплюмов поперечником в тысячи километров под Тихим океаном и Южной Африкой. Вследствие преимущественно ультраосновного состава их вещество относительно мало подплавлялось под влиянием декомпрессии при подъеме, поэтому оно имело огромную вязкость и оказывало огромное динамическое воздействие на литосферу. Под влиянием суперплюмов раскалывались континенты, возникали океанические впадины и складчатые пояса. Эти суперплюмы являются в основном *тектоногенерирующими*.

Крупные тела затвердевших преимущественно основных расплавов также должны были всплывать



под влиянием их пониженной плотности (примерно на  $0.3\text{--}0.4\text{ г/см}^3$ ) по сравнению с мантийными кумулатами и формировать плюмы относительно небольшого (сотни километров) сечения. Вследствие преимущественно основного состава их вещество сильно переплавлялось под влиянием декомпрессии при подъеме с образованием большого объема толеитовых магм. Это объясняет относительно быстрое (за первые миллионы лет) формирование огромных (миллионы  $\text{км}^3$ ) объемов траппов и океанических базитов.

### Происхождение кислой кристаллической коры и раннедокембрийских комплексов

С позиций господствующей гипотезы холодной гомогенной аккреции Земли все особенности кислой кристаллической коры и слагающих ее древнейших комплексов не имеют убедительного объяснения. Наиболее непонятен их преимущественно кислый состав. По существующим экспериментальным данным [3], образование кислых расплавов в первичных ультраосновных породах возможно при очень низкой степени их частичного плавления (на  $2\text{--}3\%$ ) при давлении менее  $0.3\text{ ГПа}$ . Однако при холодной аккреции на соответствующей этому давлению глубине менее  $12\text{ км}$  на Земле не могла существовать температура более  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , необходимая для начала плавления ультраосновных пород.

Чтобы устранить это противоречие, Д. Х. Грин и А. Е. Рингвуд [4] предположили, что кислые расплавы возникали в эклогитах, образовавшихся при погружении основных пород на большую глубину. Однако в тысячах изученных ксенолитах этих пород из кимберлитов нигде не обнаружены кислые обособления. Кроме того, возраст кристаллической коры (около  $3\text{ млрд лет}$ ) более чем в  $2$  раза больше среднего возраста эклогитовых ксенолитов (в среднем  $1.4\text{ млрд лет}$  [18]), поэтому они не могли принимать участие в ее формировании. Вязкость слабоподплавленных пород ( $10^{20}\text{--}10^{25}\text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$ ) настолько велика, что выплавки за всю историю Земли способны всплыть всего на первые миллиметры [14]. Поэтому магмы не могли возникать в результате частичного плавления.

При горячей аккреции Земли придонное компрессионное фракционирование глобального магматического океана длительное время происходило при низком давлении вследствие пониженной силы тяжести еще небольшой Земли и небольшой глубины раннего магматического океана. Вязкость расплавов океана ( $10^2\text{--}10^3\text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$ ) была в секстиллионы раз меньше, чем у слабоподплавленных пород. Поэтому придонное фракционирование происходило в больших масштабах и привело к образованию огромных объемов кислых остаточных расплавов в участках с высокой степенью кристаллизации. Вследствие низкой плотности кислые расплавы накапливались в самых верхних частях магматического океана. Постепенное возрастание температуры и глубины океана по мере аккреции привело к эволюции среднего состава возникавших остаточных расплавов до основного и ультраосновного и к формированию слоистости в магматическом океане. Возрастание плотности в нем сверху вниз (примерно от  $2.3$  до  $2.8\text{ г/см}^3$ ) препятствовало возникновению обширной (от кровли до подошвы)

единой конвекции в океане при остывании. Поэтому он затвердевал сверху вниз преимущественно в результате кондуктивных теплопотерь вверх.

В результате кристаллизации кислого слоя возникли раннедокембрийские кристаллические комплексы, сложенные в основном кумулатами этого слоя. Они образовали преимущественно кислую кристаллическую кору. Кондуктивные теплопотери являются намного более медленными, чем конвективные. Поэтому океан магмы кристаллизовался очень длительно. Это объясняет отсутствие на Земле пород древнее  $4\text{ млрд лет}$ . Причиной этого обычно считают полное уничтожение ранней коры последующими геологическими процессами. Однако такому предположению противоречит присутствие пород возрастом около  $4.45\text{ млрд лет}$  на Луне [13]. Длительное остывание магматического океана объясняет отсутствие самых древних пород на Земле.

Очевидно, что на покрытой расплавами земной поверхности не могли возникать импактные кратеры, связанные с выпадением при гигантской метеоритной бомбардировке поздних крупных планетезималей протопланетного диска. Это объясняет, казалось бы, загадочный факт отсутствия этих кратеров на Земле, хотя на Луне они широко распространены. Последнее является следствием значительно меньшего размера Луны и поэтому намного более раннего затвердевания на ней магматического океана.

Затвердевшие верхние части кислого слоя магматического океана становились плотнее незатвердевших нижних. Поэтому они вместе с накопившимися на них ранними осадками периодически тонули. Это объясняет частое присутствие в раннедокембрийских кристаллических комплексах парапород. Процессы выщелачивания затвердевавших частей кислого слоя под влиянием кислотных эманаций магматического океана обусловили количественное преобладание среди архейских и раннепротерозойских парапород кварцитов, высокоглиноземистых гнейсов и мраморов [11]. Основные и ультраосновные расплавы могут иметь меньшую плотность по сравнению с соответственно кислыми и средними по составу породами [19]. Поэтому всплывавшие расплавы могли иметь основной и ультраосновной состав. Это объясняет широко распространенное в раннедокембрийских кристаллических комплексах переслаивание кислых гнейсов с мафическими.

Преимущественно магматическое происхождение раннедокембрийских кристаллических комплексов объясняет выдержанные во всем мире очень высокие температуры их кристаллизации. Как показывает рис. 2, средние их температуры в различных регионах варьируют примерно от  $800$  до  $850\text{ }^\circ\text{C}$ . При исходном содержании воды  $1\text{ мас. \%}$  при этих температурах в гнейсах должно присутствовать около  $15\text{--}20\%$  остаточного расплава. Это примерно согласуется с содержанием жильного гранитного материала в кислых гнейсах. Этот жильный материал является остаточно-магматическим, а не анатектическим, как обычно предполагается. Такой вывод подтверждается на десятки градусов более низкой температурой его кристаллизации по сравнению с субстратом и преобладанием в нем биотита среди темноцветных минералов. В высокоглиноземистых парагнейсах анатектический



жильный материал обычно показывает несколько более высокую температуру кристаллизации по сравнению с субстратом, и в его темноцветной составляющей преобладают безводные минералы — гранат, гиперстен, кордиерит. Это связано с поглощением воды при анатектическом плавлении и с кристаллизацией в расплаве продуктов дегидратации биотита [14].

Магматическое происхождение объясняет полное отсутствие в раннедокембрийских кристаллических комплексах реликтовых более низкотемпературных минералов и присутствие, как и в магматических породах, только регрессивной последовательности минералообразования. Таким генезисом обусловлено отсутствие постепенных переходов раннедокембрийских кристаллических комплексов в менее высокотемпературные толщи. С магматическим происхождением согласуется полное отсутствие мощных теплоизолирующих перекрывающих толщ. Если бы высокая температура кристаллических комплексов была обусловлена метаморфизмом погружения, то мощность этих перекрывающих толщ должна была достигать 20—30 км. Очевидно, исчезновение такого огромного количества осадочных и вулканогенных пород на всех платформах совершенно невероятно.

Среднее давление при минералообразовании в кристаллических комплексах составляет 0.5—1.0 ГПа (рис. 2), что соответствует глубине погружения до 15—30 км. В связи с отсутствием следов существования мощных перекрывающих толщ это высокое давление должно быть обусловлено кристаллизацией большинства минералов комплексов во время погружения нисходящими струями в глубинные части океана и последующим их подъемом в восходящих струях. Это согласуется обычно с сосуществованием в одних и тех же комплексах разноглубинных минеральных парагенезисов и с присутствием в них основных кристаллических сланцев. Магмы последних всплыли из основного слоя магматического океана, начинавшегося на

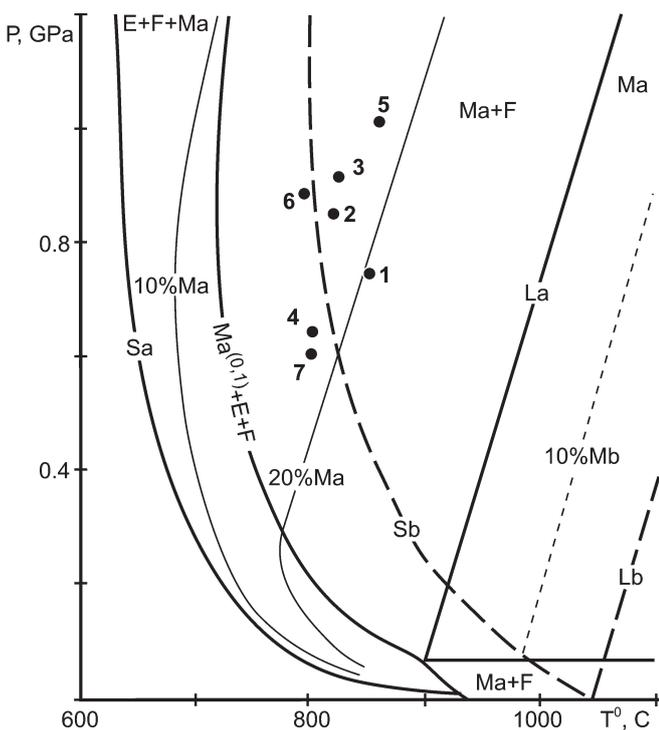
глубине около 30 км, и, следовательно, нисходящие струи иногда погружались на такую глубину.

В течение многих десятилетий геологи пытались разработать стратиграфию раннедокембрийских комплексов [11]. В последнее время эти попытки почти оставлены, так как стало ясно, что эти комплексы не стратифицируемы. Почти каждый комплекс показывает огромный интервал изотопных возрастов, иногда превышающий миллиард лет [19]. При этом интервалы для разных комплексов в значительной мере совпадают. Это согласуется с длительной кристаллизацией их в огромном магматическом океане.

Кристаллизация верхнего кислого слоя магматического океана привела к образованию кристаллического фундамента древних платформ. На них впоследствии формировались зеленокаменные, в основном вулканогенные, пояса и осадочные бассейны, зонально метаморфизованные, преимущественно под влиянием горячего основания. Из-за локальных процессов погружения и всплывания вещества в подстилавшем магматическом океане образующаяся кора пластически деформировалась. Вследствие небольшого объема возникавших конвективных ячеек образующиеся на кристаллическом фундаменте тектонические структуры имели сравнительно небольшой размер (обычно до сотен километров). Это объясняет отличия их от фанерозойских складчатых поясов, протяженность которых достигает многих тысяч километров. В раннем докембрии существовала *тектоника малых пластичных коровых плит*.

### Происхождение гидросферы

В планетологии обычно принимается, что водород и гелий, составлявшие большую часть протопланетного диска, были вынесены на его периферию мощным излучением образовавшегося Солнца. Там они сформировали огромные газовые планеты. В об-



**Рис. 2.** Средние параметры образования кристаллических комплексов Алданского щита (точка 1, среднее из 36 определений), Анабарского щита (2, 12 опред.), Лапландского пояса (3, 11 опред.), Украинского щита (4, 4 опред.), Антарктиды (5, 1 опред.), Урала (6, 10 опред.), Беломорья (7, 12 опред.). По данным [1, 2, 12]. La и Lb, Sa и Sb — соответственно ликвидусы и солидусы кислых и основных магм, F — флюид, E — минералы гранитов, 10 % Ma, 20 % Ma и 10 % Mb — содержания соответственно кислого и основного расплава, Ma<sup>(0.1)</sup> — кислый расплав с отношением количества CO<sub>2</sub> к H<sub>2</sub>O, равным 0.1

**Fig. 2.** Average parameters of origin of complexes of Aldan shield (point 1, 36 determinations), Anabar shield (2, 12 determinations), Ukraine shield (4, 4), Antarctica (5, 1), Ural (6, 10), Belomorje (7, 12) [1, 2, 12]. La, Lb, Sa and Sb — accordingly liquidus and solidus of acid and basic rocks; F — fluid; E — granite minerals; 10 % Ma and 10 % Mb — contents of acid and basic melts; Ma<sup>(0.1)</sup> — acid melt with CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O = 0.1



ласти планет земной группы под влиянием гравитационного притяжения остались преимущественно сконденсировавшиеся элементы и самые тяжелые газы. Но высокая температура ранней Земли (до 2300 К) приводила к невозможности удержания ее гравитационным полем почти всех газов. Как показали расчеты [19], пары воды начали удерживаться на Земле после падения температуры ее поверхности ниже 1305 К, азота — при температуре ниже 1015 К, что произошло соответственно около 3.7 и 3.15 млрд лет назад. Поэтому гидросфера и атмосфера Земли являются вторичными и возникает вопрос о природе источников их компонентов.

В настоящее время широко распространены предположения о привносе их выпадавшими кометами. Однако гигантская метеоритная бомбардировка завершилась 3.8 млрд лет назад, то есть раньше, чем начали удерживаться главные компоненты гидросферы и атмосферы. Сохранение кислого состава коры континентов не позволяет предполагать более позднее массовое выпадение комет. Это противоречит предположениям о существенном привносе воды кометами. Такой вывод согласуется с обычно большим содержанием дейтерия в воде комет по сравнению с земной. Очевидно, что источником компонентов гидросферы и атмосферы должны быть кристаллизовавшиеся расплавы магматического океана. Отсутствие пород возрастом более 4 млрд лет указывает, что почти весь объем магматического океана закристаллизовался после начала удержания паров воды. Известно, что вода является одним из наиболее хорошо растворимых в расплаве компонентов. Поэтому ее выделение из магматического океана объясняет большой объем гидросферы на Земле.

При средней глубине слоя воды на всей поверхности Земли 2.6 км, максимальной глубины магматического океана 250 км и средней плотности его расплава 2.6 г/см<sup>3</sup> необходима концентрация воды в нем около 0.4 мас. % для образования всей гидросферы нашей планеты. Содержание воды в природных магмах чаще всего около 1 %. Поэтому выделение воды при кристаллизации магматического океана было вполне достаточным для возникновения гидросферы. Интенсивные процессы затвердевания магматического океана завершились примерно 2 млрд лет назад, судя по возникновению к этому времени жесткой литосферы. Это согласуется с началом формирования в это время осадочного чехла на древних платформах, связанного с их затоплением мелководными морями. Примерно до этого времени большая часть воды находилась в виде пара вследствие еще высокой температуры земной поверхности [19]. Это объясняет преобладание в древних толщах кварцитов, карбонатных и высокоглиноземистых пород [11], являющихся продуктами интенсивного химического выветривания ранних магматических пород. Дифференциация огромного магматического океана объясняет генезис уникально крупных месторождений на древних платформах (железистые кварциты, Витватерсранд, Бушвельд, редкоземельные карбонатиты, кимберлиты) [19].

Существование магматического океана и выделение из него воды обусловили сначала высокую температуру поверхности и существование гидросферы на

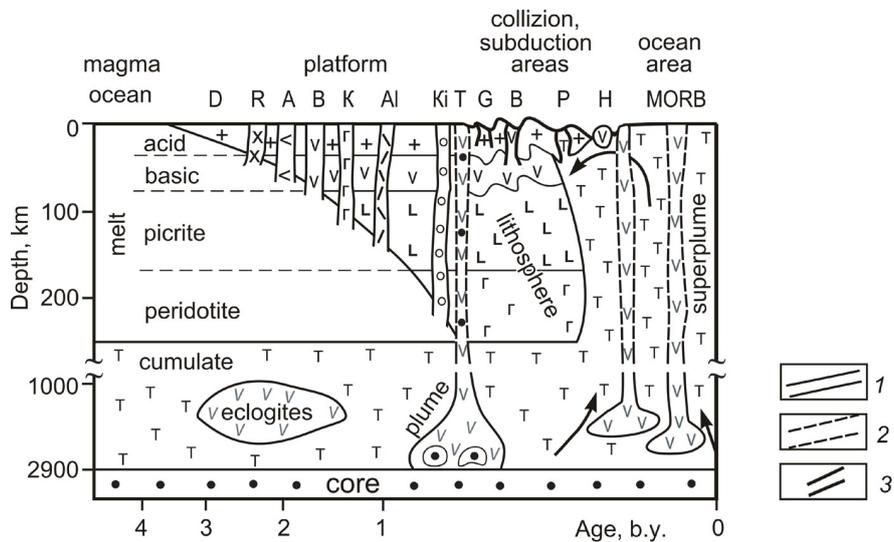
Марсе. Затем, после его быстрого остывания, в связи с небольшим размером замерзшая вода была перекрыта пылью и остались лишь многочисленные следы былых речных русел и озер.

### Происхождение магм

При холодной гомогенной аккреции на Земле сначала должны были отсутствовать магмы. Предполагается, что они формировались в результате последующего радиогенного разогрева и плавления. Природные магмы содержат значительно больше расплавофильных литофильных компонентов, чем исходные ультраосновные породы. Поэтому принимается, что степень плавления является небольшой, примерно 0.1—15 % [3], и магмы возникают путем отделения выплавов. Однако детальное изучение [14] показало, что в огромных полях мигматитов анатектический жильный материал всегда является автохтонным, что связано с огромной вязкостью слабоподплавленных пород, препятствующей отделению в них выплавов [19]. Встречающиеся в мигматитах крупные тела гранитов имеют иной состав и возраст, чем анатектический жильный материал. Автохтонность анатектического расплава согласуется с экспериментами Н. Т. Арндта [21], в которых в расплавленных менее чем на 30 % перидотитах не происходило разделение расплава и твердых фаз. Следовательно, природные магмы не возникают путем частичного плавления, как обычно предполагается. Вследствие в секстиллионы раз меньшей вязкости расплавов, чем слабоподплавленных пород, фракционирование магматического океана было очень эффективным механизмом генерации разных по составу магм. Его учет позволяет объяснить особенности состава и последовательность образования природных магматических пород.

Как иллюстрирует рис. 3, в раннем докембрии происходили кристаллизация и фракционирование верхнего кислого слоя магматического океана с образованием гнейсовых комплексов преимущественно из кумулатов и многочисленных гранитоидов из остаточных расплавов. С углублением фронта кристаллизации возникали субщелочные и щелочные остаточные расплавы, в том числе рапакиви, характерные только для древних комплексов. Выжимание еще не затвердевших преимущественно плагиоклазовых кумулатов привело к образованию часто крупных тел автономных анортозитов возрастом 2.8—1.0 млрд лет [19]. Всплывание расплавов основного и ультраосновного слоев обусловило возникновение иногда очень крупных мафических интрузий, в том числе коматитов, характерных для ранних зеленокаменных поясов. После начала фракционирования ультраосновного слоя коматиты сменились возникавшими из остаточных расплавов пикритового слоя щелочно-ультраосновными карбонатитсодержащими комплексами со средним изотопным возрастом 688 млн лет [19]. Затем из остаточных расплавов перидотитового слоя формировались наиболее глубинные кимберлитовые магмы со средним возрастом 257 млн лет.

Перед возникновением прямого геотермического градиента в мантии в конце протерозоя начали всплывать крупные тела основных пород, возникшие в результате компрессионного затвердевания расплавов



**Рис. 3.** Эволюция магматизма в истории Земли. Магмы: А — автономных анортозитов; Al — щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов; B — базитов; D — сформировавшие кислую кристаллическую кору; G — гранитоидов; H — горячих точек; MORB — базальтов СОХ; K — коматиитов; Ki — кимберлитов; P — габбро-перидотитов; R — рапакиви и других субщелочных; T — траппов, иногда с самородным железом. Генетические типы магм: 1 — расплавы магматического океана; 2 — плюмово-декомпрессионные; 3 — фрикционно-декомпрессионные

**Fig. 3.** Scheme of origin of main geodynamic setting and magmas as a result of crystallization of global magma ocean and of mantle convection. Magmas: A — of autonomus anorthosites; Al — of alkaline ultrabasic rocks with carbonatites; B — of basites; G — of acid rocks; D — of early Precambrian crystalline crust; H — of “hot points”; MORB — of middle oceanic ridges; K — komatiites; Ki — kimberlites; R — of rapakivi and subalkaline rocks; T — of traps sometimes with native iron. Genesis of magmas: 1 — melts of magma ocean; 2 — plume-decompression; 3 — friction-decompression

синаккреционного магматического океана. Их декомпрессионное переплавление привело к быстрому формированию огромных объемов декомпрессионно-плюмовых преимущественно толеитовых магм трапповых провинций и океанических областей. В последней часть основных магм возникла путем декомпрессионного переплавления базитовых тел, присутствовавших среди ультраосновных мантийных кумулатов суперплюмов.

Огромные стрессовые напряжения в океанической литосфере (до 200—400 МПа в районе Японской островной дуги [7]), неразрывная связь магматизма с тектоническими движениями, повышенное начальное отношение изотопов стронция и поясовое распространение магматических пород в субдукционных и коллизионных областях свидетельствуют о возникновении их магм путем фрикционного и последующего декомпрессионного переплавления при подъеме дифференциатов магматического океана. Как показали расчеты, таким путем должны были формироваться огромные объемы магматических пород в этих областях. Вариации этих дифференциатов от основных до кислых объясняют обычно полиформационный состав магматизма этих областей.

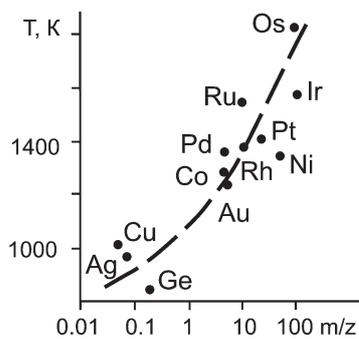
**Желваки самородного железа в базитах — ксенолиты земного ядра**

А. Э. Нордшельд впервые обнаружил тела самородного железа в базитах о. Диско (Гренландия). Позже такие тела были установлены в базитах Германии и Сибирской платформы [8]. Обращает на себя внимание их огромная масса — до десятков тонн. Выяснение их генезиса имеет значение для решения

генетических проблем петрологии. Обычно возникновение желваков связывают с процессами восстановления железа базитов под влиянием ассимиляции углеродсодержащих осадочных пород или в результате воздействия гипотетических потоков водорода в мантии [8]. Однако в местах развития углеродистых толщ отсутствуют тела самородного железа в базитах, а мантийные породы образовались при величине фугитивности кислорода на четыре порядка выше, чем в металлическом железе [24]. Поэтому водород в них окислился бы и превратился в воду. Кроме того, в сжатой и высокотемпературной мантии нет открытых трещин и пор, необходимых для движения флюидов. Полученные данные о происхождении мантии и основных магм полностью объясняют генезис желваков железа.

Очевидно, что в начале аккреции мантии возникшие при падении крупных планетезималей импактные углубления на дне магматического океана могли достигать поверхности железного ядра и заполнявшие их основные расплавы включали его ксенолиты. Всплытие и декомпрессионное переплавление таких основных тел приводило к образованию железосодержащих магм. Их декомпрессионное затвердевание на приповерхностных стадиях подъема в результате выкипания сильного плавня, воды [14], препятствовало гравитационному осаждению железных тел и обусловило их частое размещение в верхних частях основных интрузий.

Железные метеориты являются обломками ядер мелких планет [6]. Вследствие гетерогенной аккреции внешней части земного ядра и образовавшиеся из них тела железа должны содержать в среднем больше низкотемпературных конденсатов протопланет-



**Рис. 4.** Зависимость величины отношений наиболее распространенных содержаний сидерофильных элементов в метеоритном и земном железе ( $m/z$ ) от температуры конденсации этих элементов ( $T, K$ ) в протопланетном диске. Пунктир — средняя линия корреляции [19]

**Fig. 4.** Dependence of value of content ratios of siderophile elements in meteoritic to the Earth's iron ( $m/z$ ) from condensation temperature of these elements in protoplanet disc ( $T, K$ ). Dotted line — medium line of correlation [19]

ного диска и меньше высокотемпературных по сравнению с метеоритами. Положительный наклон линии корреляции температуры конденсации и отношения содержаний компонентов в метеоритном и земном железе на рис. 4 подтверждает обогащенность тел земного железа низкотемпературными конденсатами и принадлежность их к ксенолитам внешней части ядра. Такой генезис объясняет химическую неравновесность этих тел с вмещающими базитами и формирование на их контакте реакционных минералов — высокожелезистых оливинов, когениит-магнетитовых и когениит-сульфидных оторочек. Образование вмещающих базитов из ранних силикатных конденсатов протопланетного диска является причиной бедности их калием, водой и другими литофильными компонентами. Очевидно, что в случае обычно предполагаемого образования основных магм путем обособления выплавки в верхней мантии в них не могут находиться ксенолиты ядра. Поэтому их присутствие является дополнительным доказательством формирования магм из дифференциатов магматического океана.

## Заключение

Таким образом, накопленные к настоящему времени геологические и планетологические данные отрицают господствовавшую в геологии гипотезу холодной гомогенной аккреции Земли и вытекающие из нее генетические следствия и указывают на горячую гетерогенную аккрецию нашей планеты. Генетические следствия этой гипотезы принципиально по-новому решают дискуссионные проблемы петрологии и согласуются с имеющимися данными. Учет этой новой парадигмы необходим для дальнейшего развития петрологической науки.

## Литература

1. Березкин В. И., Смелов А. П., Зедгенизов А. В. и др. Геологическое строение центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего до-

кембрия (Южная Якутия). Новосибирск: Изд. СО РАН, 2015. 459 с.

2. Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя // Материалы II Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб., 2007. 407 с.

3. Грин Д. Х. Состав базальтовых магм как критерий их возникновения при вулканизме / Ред. Э. Буллард, Дж. Канн, Д. Метьюз // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир, 1973. С. 242—261.

4. Грин Д. Х., Рингвуд А. Е. Происхождение известково-щелочных магматических пород / Ред. И. Д. Рябчиков // Петрология верхней мантии. М.: Мир, 1968. С. 118—131.

5. Добрецов Н. Л. Основы тектоники и геодинамики. Новосибирск: Изд. НГУ, 2011. 492 с.

6. Додд Р. Т. Метеориты — петрология и геохимия. М.: Мир, 1986. 382 с.

7. Короновский Н. В. Напряженное состояние земной коры // Соросовский образовательный журнал. 1987. № 1. С. 50—56.

8. Томшин М. Д., Салихов Р. Ф., Матушкин А. И., Маковчук И. В., Копылова А. Г., Васильева А. Е. Самородное железо в долеритах Айхальского сила (первая находка в Якутии) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019. Т. 24. № 3. С. 50—63.

9. Пучков В. И. Великая дискуссия о плюмах: кто прав? // Геотектоника. 2009. № 1. С. 3—32.

10. Рингвуд А. Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 294 с.

11. Салон Л. Н. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л.: Недра, 1982. 334 с.

12. Смелов А. П., Березкин В. И., Тимофеев В. Ф. и др. Геологическое строение западной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия). Якутск: Изд. ЯНЦ СО РАН, 2009. 168 с.

13. Флоренский К. П., Базилевский А. Т., Бурба Г. А. и др. Сравнительная планетология. М.: Наука, 1981. 326 с.

14. Шкодзинский В. С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 232 с.

15. Шкодзинский В. С. Природа специфики геологических процессов в раннем докембрии // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 2. С. 12—19.

16. Шкодзинский В. С. Происхождение коры и литосферы древних платформ // Литосфера. 2017. № 11. С. 5—15.

17. Шкодзинский В. С. Генезис магм по современным данным о горячей аккреции Земли // Наука и образование. 2017. № 2. С. 5—10.

18. Шкодзинский В. С., Толстов А. В. Генезис кимберлитовых магм и алмаза по результатам корреляции его кристалломорфологии с составом вмещающих кимберлитов // Записки Российского минералогического общества. 2009. Т. 138. № 3. С. 1—14.

19. Шкодзинский В. С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Изд. СВФУ, 2018. 274 с.

20. Шмидт О. Ю. Происхождение Земли и планет. М.: Изд. АН СССР, 1962. 132 с.

21. Arndt N. T. The separation of magmas from partially molten peridotite // Carnegie Inst. Wash. Yearb. 1977. 76. P. 424—428.

22. Bukowinski M. S. Taking the core temperature // Nature. 1999. N 6752. P. 432—433.

23. Harris P. G., Tozer D. C. Fractionation of iron in the Solar system // Nature. 1967. V. 215. P. 1449—1451.



24. O'Neil H. S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth // *Meteoritics*. 1990. 25 (4). P. 395.

## References

1. Bereskin V. I., Smelov A. P., Zedgenisov A. V. et al. *Geologicheskoe stroenie zentralnoi chasti Aldano-Stanovogo shchita i himicheskie sostavy porod rannego dokembria* (Geology of central part of Aldan-Stanovoi shield and chemical composition of rocks Early Precambrian). Novosibirsk: Pub. SO RAN, 2019, 459 p.
2. *Granulitovye komplekxy v geologicheskom rasvitií dokembria i fanerozoja* (Granulite complexes in geological evolution of Precambrian and Phanerozoic). Proceedings of conference. St. Petersburg, 2007, 407 p.
3. Green D. X. *Sostav bazal'tovih magm kak kriterii uslovii ih vznikeniya pri vulkanizme* (Composition of basaltic magmas as criterion of genesis during volcanicity). Petrology of igneous and metamorphic rocks of oceans. Moscow: Mir, 1973, pp. 242–261.
4. Green D. X., Ringwood A. E. *Proishozhdenie isvestkovochelochnyh magmaticheskikh porod* (Genesis of calcareo-alkaline magmatic rocks). Petrology of upper mantle. Moscow: Mir, 1968, pp. 118–131.
5. Dobretsov N. L. *Osnovy tectoniki i geodinamiki* (Bases of tectonics and geodynamics). Novosibirsk: NGU, 2011, 492 p.
6. Dodd R. T. *Meteority — petrologija i geohimija* (Meteorites — petrology and geochemistry). Moscow: Mir, 1986, 382 p.
7. Koronovskii N. V. *Naprjazhonoe sostojanie zemnoi kory* (Stress in the Earth crust). Sorov educational Journal, 1987, No. 1, pp. 50–51.
8. Tomshin M. D., Salihov R. F., Matushkin A. I., Makovchuk I. V., Kopylova A. G., Vasileva A. E. *Samorodnoe gelezo v doleritah Aihalskogo silla (pervaja nahodka v Yakutii)*. (Native iron in dolerites of Aihal sill (first find in Yakutia)). *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki* (Natural resources of the Arctic and Subarctic), 2019, V. 24, No 3, pp. 50–63.
9. Puchkov V. I. *“Velikaja diskussia” o plumah: kto prav?* (“Great discussion” about plumes: who is right?). *Geotektonics*, 2009, No. 1, pp. 3–32.
10. Ringwood A. E. *Proishozhdenie Zemli i Luny* (Genesis of the Earth and Moon). Moscow: Nedra, 1982, 294 p.
11. Salop L. N. *Geologicheskoe rasvitiie Zemli v dokembrii* (Geological evolution of the Earth in Precambrian). Leningrad: Nedra, 1982, 334 p.
12. Smelov A. P., Bereskin V. I., Timofeev V. F. et al. *Geologicheskoe stroenie zapadnoi chasti Aldano-Stanovogo shchita i himicheskie sostavy porod rannego dokembria* (Geology of west part of Aldan-Stanovoi shield and chemical composition of rocks Early Precambrian). Yakutsk: Pub. JaNZ SO RAN, 2009, 168 p.
13. Florenskiy K. P., Basilevskiy A. T., Burba G. A. et al. *Sravnitel'naja planetologija* (Comparative planetology). Moscow: Nauka, 1981, 326 p.
14. Shkodzinskiy V. S. *Fasovaja evolutsija magm i petrogenesis* (Phase evolution of magmas and petrogenesis). Moscow: Nauka, 1985, 232 p.
15. Shkodzinskiy V. S. *Priroda spetsifiki gologicheskikh prozessov v rannem dokembrii* (Genesis of geological processes in early Precambrian). *Vestnik Komi IG*, 2017, No. 2, pp. 12–19.
16. Shkodzinskiy V. S. *Proishozhdenie kory i litosfery drevnih platform* (Genesis of core and lithosphere of early platform). *Lithosphere*, 2017, No. 11, pp. 5–15.
17. Shkodzinskiy V. S. *Genesis magm po sovremennym dannym o gorjachei akkrezii Zemly* (Genesis of magmas according with modern data of hot accretion of the Earth). *Science and Education*. 2017, No. 2, pp. 5–10.
18. Shkodzinskiy V. S., Tolstov A. V. *Genesis kimberlitovykh magm i almasy po rezultatam korrelacii ego kristallomorfologii s sostavom vmeshchajuchih kimberlitov* (Genesis of kimberlite magmas and diamond as result of correlation of its crystallography with composition of kimberlites). *Zapiski of RMO*, 2009, V. 138, No. 3, pp. 1–14.
19. Shkodzinskiy V. S. *Global'naja petrologija po sovremennym dannym o gorjatcei geterogennoi akkrezii Zemli* (Global petrology on modern data on hot heterogeneous of the Earth). Yakutsk: Pub. SVFU, 2014, 274 p.
20. Schmidt O. Ju. *Proishozhdenie Zemli i planet* (Genesis of the Earth and planets). Moscow: Pub. AS USSR, 1962, 132 p.
21. Arndt N. T. The separation of magmas from partially molten peridotite. *Carnegie Inst. Wash. Yearb*, 1977, 76, pp. 424–428.
22. Bukovinskii M. S. Taking the core temperature. *Nature*. 1999, No. 6752, pp. 432–433.
23. Harris P. G., Tozer D. C. Fractionation of iron in the Solar system. *Nature*, 1967, V. 215, pp. 1449–1451.
24. O'Neil H. S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth. *Meteoritics*, 1990, 25 (4), pp. 395.

Поступила в редакцию / Received 09.01.2020



## Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.93:550.423:546.81.027\*210:631.445.12(470.11)

DOI: 10.19110/geov.2020.7.3

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ТИПУ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ $^{210}\text{Pb}$ -ДАТИРОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ СУБАРКТИКИ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

Е. Ю. Яковлев<sup>1</sup>, А. А. Очеретенко<sup>1</sup>, Р. К. Спиоров<sup>2</sup>, Е. В. Мищенко<sup>2</sup>, Е. В. Жуковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова УрО РАН, Архангельск

*evgeny.yakovlev@fciarctic.ru, pieepl@ya.ru*

<sup>2</sup>Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель; *ruslan.spirov@yandex.ru*

Ключевым методом изучения осадочных и торфяных отложений в антропоцене является  $^{210}\text{Pb}$ -датирование, применяемое во временном диапазоне 100—150 лет. Моделирование по методу Монте-Карло использовано для оценки погрешности  $^{210}\text{Pb}$ -датирования. Подход реализован в формате электронных таблиц MS Excel, в которых расчетными параметрами являются диаметр керна, период полураспада  $^{210}\text{Pb}$ , глубина слоя, сухая масса слоя, общее содержание  $^{210}\text{Pb}$  и концентрация  $^{226}\text{Ra}$ . Метод апробирован при датировании торфяных кернов, отобранных в Приморском и Мезенском районах Архангельской области, с последующим расчетом темпов осадконакопления.

**Ключевые слова:** датирование  $^{210}\text{Pb}$ , неопределённость, торфяной профиль, моделирование Монте-Карло, скорость торфонакопления.

### APPLICATION OF MONTE CARLO-TYPE MODELING METHOD TO ESTIMATE $^{210}\text{Pb}$ ERRORS IN DATING OF PEAT DEPOSITS OF THE EUROPEAN SUBARCTIC OF RUSSIA (ON THE EXAMPLE OF ARKHANGELSK REGION)

E. U. Yakovlev<sup>1</sup>, A. A. Ocheretenko<sup>1</sup>, R. K. Spirov<sup>2</sup>, E. V. Mishchenko<sup>2</sup>, E. V. Zhukovskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FCI Arctic), Arkhangelsk

<sup>2</sup>State Scientific Institution «Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus», Gomel

$^{210}\text{Pb}$  dating is a key method for studying sediments and peat deposits in the anthropocene, applicable in the time range of 100—150 years. Monte Carlo simulation was used to estimate  $^{210}\text{Pb}$  dating error. The approach is implemented in the format of MS Excel spreadsheets, in which the calculated parameters are core diameter, half-life of  $^{210}\text{Pb}$ , layer depth, dry weight, total content of  $^{210}\text{Pb}$  and concentration of  $^{226}\text{Ra}$ . The approach was tested when dating peat cores selected in the Primorsky and Mezensky districts of the Arkhangelsk region, followed by calculation of sedimentation rates.

**Keywords:**  $^{210}\text{Pb}$  dating, uncertainly, peat profile, Monte Carlo simulation, peat accumulation rate.

#### Введение

Приблизительно 3 % площади Земли покрыто торфяниками, которые содержат в себе значительные запасы углерода, накопленного в течение длительного периода времени [27]. В торфяниках Северного полушария содержится около 450 млрд т углерода, что составляет 30 % от общего запаса углерода в почве [33]. Торфяные болота крайне чувствительны к изменению климата и играют важную роль в глобальном потепле-

нии из-за увеличения скорости выброса парниковых газов  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$  [49].

В Российской Федерации сосредоточено от 40 до 60 % мировых ресурсов торфа, при этом в северных областях европейской части России разведано наибольшее количество запасов, оцененных в 6.9 млрд т (36.2 % от запасов России) [5, 7, 8].

В пределах северных территорий, относящихся к поясу интенсивного торфонакопления, основ-

**Для цитирования:** Яковлев Е. Ю., Очеретенко А. А., Спиоров Р. К., Мищенко Е. В., Жуковская Е. В. Применение метода моделирования по типу Монте-Карло для оценки погрешностей  $^{210}\text{Pb}$ -датирования торфяных отложений Европейской Субарктики России (на примере Архангельской области) // Вестник геонаук. 2020. 7(307). С. 18—28. DOI: 10.19110/geov.2020.7.3.

**For citation:** Yakovlev E. U., Ocheretenko A. A., Spirov R. K., Mishchenko E. V., Zhukovskaya E. V. Application of Monte Carlo-type modeling method to estimate  $^{210}\text{Pb}$  errors in dating of peat deposits of the European subarctic of Russia (on the example of Arkhangelsk region). Vestnik of Geosciences. 2020. 7(307). С. 18—28. DOI: 10.19110/geov.2020.7.3.



ными биогеоценозами являются торфяно-болотные экосистемы [10]. Основным типом болот здесь являются верховые (омбротрофные) болота, доминирующим источником питания которых являются аэрозоли, воздушная пыль и атмосферные осадки [54]. Это приводит к формированию чрезвычайно бедной питательными веществами среды, на которой преобладают мхи (сфагнумы). Торфяники представляют собой «архив» атмосферных загрязнителей с ведущей ролью радиоактивных элементов, поскольку арктические территории с начала атомной эры подверглись существенному радиационному воздействию [6, 19, 22, 23, 28, 31, 32, 48, 50].

Сфагновые растения болот поглощают и удерживают значительное количество радионуклидов, поступивших из радиоактивного осадка [24, 33, 34]. Изучение их активности в торфяниках имеет важное значение не только с точки зрения оценки воздействия ионизирующего излучения на биоту, но и для решения ряда практических задач геохимии [21].

Радиоактивные изотопы, находящиеся в торфяных отложениях, могут предоставить ценную информацию о последних региональных изменениях климатических условий и загрязняющих нагрузок [17, 18, 26, 40, 44, 47]. Такие данные могут быть получены в результате абсолютного датирования торфяных отложений. Точная датировка этого типа осадков будет полезна для понимания динамики условий окружающей среды в прошлом, так как торф является эффективным показателем многих факторов окружающей среды в масштабах десятилетий и столетий [44].

Широкое применение при датировке современных осадков (в том числе торфа до 150 лет) находит метод датирования по избыточному свинцу-210 [12, 14, 33, 35, 37]. Экспериментальными исследованиями [53] было показано, что ~95 % свинца удерживается в торфяных отложениях, несмотря на изменение окислительно-восстановительных условий и колебания уровня воды. Поэтому  $^{210}\text{Pb}$ -датирование является наиболее надежной и точной методикой определения возраста и скорости накопления торфа [13, 33].

В геохронологии наряду с точным измерением радиоактивных изотопов в изучаемом объекте важнейшее значение имеет оценка неопределённости датирования, напрямую влияющая на результаты расчета абсолютного возраста [45]. Существует множество методов ее оценки [20, 45, 51].

Метод моделирования Монте-Карло имеет широкое применение в геохронологии при радиоуглеродном, уран-ториевом и  $^{210}\text{Pb}$ -датировании [15, 25, 41]. Целью данного исследования являлась проверка его эффективности для оценки погрешностей  $^{210}\text{Pb}$ -датирования торфяных отложений в торфяно-болотных экосистемах в пределах Европейской Субарктики России (на примере Архангельской области). Для достижения цели были реализованы следующие задачи: отбор торфяных профилей в различных районах вышеуказанной области (включая отбор проб растений, являющихся типичными для торфяно-болотных экосистем); определение содержания радиоактивного изотопа  $^{210}\text{Pb}$  в растениях и по разрезу торфяных отложений; изучение и применение модели неопределённости Монте-Карло для двух торфяных профилей; определение скоростей современного торфонакопления на основе  $^{210}\text{Pb}$ -датирования.

## Материал

Отбор торфяных колонок проводился в пределах двух районов Архангельской области. Первая торфяная колонка ТВ-1 была отобрана на севере области, в Мезенском районе (Черноозерская площадь, N 65.64409° E 41.35796°), вторая колонка Td-1 была отобрана в Приморском районе рядом с посёлком Рикасиха, расположенным ~30 км западнее Архангельска и ~20 км юго-восточнее Северодвинска (N 64.51892° E 40.06229°).

Районы исследований относятся к бассейну Белого моря. В геоморфологическом отношении территория представлена водно-ледниковым аккумулятивным типом рельефа с озерно-ледниковыми равнинами [30]. Современный рельеф данных территорий формировался на протяжении нескольких эпох четвертичного оледенения, последнее из которых окончилось около 11.7 тыс. лет назад [52]. Торфообразование началось сразу после исчезновения льда [4]. Климат — переходный от умеренно-морского к субарктическому [16]. Основным компонентом исследуемых залежей торфа является сфагновый мох. Типичная толщина торфяных залежей в Архангельской области находится в интервале от 2.2 до 6.5 м (среднее значение составляет 4.0 м) [1]. Описание растительных сообществ в районах отбора торфяных разрезов приведено в виде ярусной структуры [3, 9, 11].

Район отбора **профиля ТВ-1**. В верхнем ярусе (древостой) встречаются преимущественно хвойные: *Pinus sylvestris* (низкая, угнетённая) и *Picea abies*; в этом же ярусе низкорослые деревья (подлесок) — *Betula pubescens*. В среднем ярусе (травяно-кустарничковый) — кустарники: *Vaccinium vitis-idaea* L., *Rubus chamaemorus* L., *Betula nana* L., *Empetrum nigrum* L., *Andromeda polifolia* L., *Sorbus aucuparia* — и травы: *Lycopodium annotinum* L., *Eriophorum vaginatum*, *Baeothryon cespitosum* (L.) A. Dietr., *Carex limosa* L., *Drosera rotundifolia* L., *Carex pauciflora* Lightf. В нижнем ярусе (мохово-лишайниковый) — мхи: *Sphagnum girgensohnii* и *Polytrichum commune*, *Sphagnum annulatum* H. Lindb. ex Warnst., *Pleurozium schreberi*; лишайники: *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Usnea dasypoda* (Ach.) Rohl. emend. Mot. На грядах и вершинах данного болотного массива развиваются сосново-кустарничково-сфагновые сообщества, в мочажинах — пушицево-сфагновые.

Район отбора **профиля Td-1**. В верхнем ярусе (древостой) встречается *Pinus sylvestris*, низкая для своего возраста, с искривленным стволом. В среднем ярусе — кустарники: *Andromeda polifolia* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., *Empetrum nigrum* L. — и травы: *Baeothryon cespitosum* (L.) A. Dietr., *Carex limosa* L. В нижнем ярусе — мхи: *Sphagnum lindbergii* и *Sphagnum capillifolium*. На грядах и вершинах данного болотного массива развиваются сосново-вересково-сфагновые сообщества, в мочажинах — осоково-сфагновые.

Керны торфяников ТВ-1 и Td-1 отбирали с помощью ПВХ-труб большого диаметра с площадью поперечного сечения ~625 см<sup>2</sup>. После доставки в лабораторию торфяные керны были разделены на срезы по 2—6 см. Керны были высушены в сушильном шкафу SNOL 24/200 при температуре 105 °C до воздушно-сухого состояния. Поверхностная растительность была



также отображена и в этой работе рассматривается как первый слой. Длины кернов ТВ-1 и Тd-1 составили 69 и 60 см соответственно.

### Методы и подходы

Модели датирования  $^{210}\text{Pb}$ , включая основы, номенклатуру и формулировку, описаны у ряда авторов [14, 29, 43]. Моделирование методом Монте-Карло [45] выступает как альтернатива квадратичному распределению неопределённостей. Основой метода служит модель постоянного потока  $^{210}\text{Pb}$ . Данные упорядочены в электронной таблице, в которой разрешен итерационный расчет. Число итераций составляло 10 000 [45, 46]. Методология была применена к 2 торфяным кернам из мест различных условий окружающей среды и временного периода.

#### *Генерация случайных значений по модели Монте-Карло*

После того как все основные величины рассчитаны, можно датировать керн, используя модель постоянного потока  $^{210}\text{Pb}$ . Чтобы сопоставить неопределённость по модели Монте-Карло с квадратичным распределением, получают выражения с независимыми переменными [45]. Отметим, что с помощью метода Монте-Карло использование методологии датирования  $^{210}\text{Pb}$  выходит за пределы 150 лет с возрастной неопределённостью менее 10 %.

В моделировании используются расчёты для темпов осадконакопления, которые могут быть определены количественно через два параметра: скорость накопления отложений ( $\text{см}\cdot\text{год}^{-1}$ ) и скорость накопления массы ( $\text{г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ) [45]. Укажем, что скорость накопления массы полезна для преобразования концентраций (например,  $\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$  загрязняющего вещества) в потоки, что имеет большое значение в исследованиях окружающей среды (например, загрязняющие вещества:  $\text{мг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ) [46].

В заключение скажем, что рассматриваются 6 источников неопределённости: диаметр керна, период полураспада  $^{210}\text{Pb}$ , глубина слоя, сухая масса слоя, а также общее содержание  $^{210}\text{Pb}$  и концентрации  $^{226}\text{Ra}$ . Измеренные величины моделируются с использованием рандомизированного подхода. Производные переменные вычисляются с использованием случайных значений, полученных для каждой итерации, рассчитывается накопленное квадратичное отклонение от истинного значения и получается неопределённость. Чтобы избежать ошибок вычислений из-за случайных значений, близких к нулю, используется авторская [45] схема уменьшения неопределённости с подобранным экспериментально коэффициентом. Описанная стратегия моделирования по Монте-Карло [45] является очень надёжной, поскольку неопределённости рассчитываются всегда по одним и тем же простым принципам и не требуется вывода и использования сложных формул, что снижает вероятность ошибки.

#### *Радиохимическое выделение $^{210}\text{Po}$ и $^{210}\text{Bi}$ в торфяных кернах*

Воздушно-сухую пробу торфа (исходная масса не менее 50 г) измельчали фарфоровым пестиком в ступ-

ке из аналогичного материала и просеивали через сито  $200 \times 50$  с ячейками 2 мм. Крупную фракцию отбрасывали, мелкую фракцию истирали до крупности 200 меш ( $< 0.074$  мм) с использованием лабораторной мельницы. Отбирали материал пробы для радиохимической обработки (не менее 20 г).

Навеску пробы 5 г помещали в химический стакан ёмкостью  $100 \text{ см}^3$  и добавляли  $10 \text{ см}^3$  концентрированной  $\text{HNO}_3$  марки чда порциями по 1–2  $\text{см}^3$  при интенсивном перемешивании. Содержимое стакана нагревали на плитке в течение 5–10 минут. Окончание этапа определяли по прекращению вспенивания раствора. Трассер на данном этапе не добавляли, так как, согласно методике [2], радиохимический выход изотопов  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Bi}$  составляет соответственно  $0.85 \pm 0.13$  и  $0.85 \pm 0.13$  и использование трасера не предусмотрено.

После охлаждения постепенно добавляли  $5 \text{ см}^3$   $\text{H}_2\text{O}_2$  марки чда порциями по 1–2  $\text{см}^3$  при перемешивании. Если шла очень бурная реакция, добавляли дистиллированную воду.

Закрывали часовым стеклом и оставляли до момента, когда реакция окисления перейдёт в спокойную стадию. После этого часовые стекла снимали, обмывали дистиллированной водой и выпаривали содержимое стакана солей на плитке, нагретой до  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ . На этом этапе важно не допустить пересушивания осадка.

Далее проводили выщелачивание определяемых элементов. Для этого влажные соли обрабатывали  $25 \text{ см}^3$   $\text{HCl}$  (1 : 2) марки чда, хорошо перемешивали, накрывали стакан часовым стеклом и кипятили в течение 1 часа, поддерживая спокойное кипение раствора.

После отстаивания выщелат отфильтровывали через фильтр «синяя лента» в химический стакан объёмом  $250 \text{ см}^3$ . Часовое стекло, стакан и остаток промывали  $25 \text{ см}^3$  горячей  $\text{HCl}$  (1 : 4) марки чда.

Затем отфильтрованный осадок вместе с фильтром снова помещали в стакан для выщелачивания и повторяли обработку смесью  $25 \text{ см}^3$   $\text{HCl}$  (1:2) марки чда и  $1 \text{ см}^3$   $\text{H}_2\text{O}_2$  марки чда в течение 30 минут. Выщелачивание производили как описано выше. Снова выщелат отфильтровывали через фильтр «синяя лента» в стакан, где находился первый фильтрат. Остаток на фильтре и в стакане промывали горячей  $\text{HCl}$  (1 : 4) марки чда 5 раз по  $10 \text{ см}^3$ .

В объединённый фильтрат прибавляли  $10 \text{ см}^3$   $\text{HClO}_4$  марки чда и выпаривали до появления густых белых паров, закрывали часовым стеклом и продолжали выпаривание до начала выпадения солей. После этого пробу охлаждали, снимали часовые стекла, обмывали их дистиллированной водой и окончательно выпаривали раствор до влажных солей.

Соли растворяли при кипячении после добавления  $5 \text{ см}^3$  концентрированной  $\text{HCl}$  марки чда и  $25 \text{ см}^3$  дистиллированной воды. Затем разбавляли раствор до  $100 \text{ см}^3$  дистиллированной водой и прибавляли аскорбиновую кислоту марки хч до обесцвечивания раствора для устранения мешающего действия  $\text{Fe}^{3+}$  восстановлением его до  $\text{Fe}^{2+}$ .

Из этого раствора проводили спонтанное осаждение радионуклидов. Стальной диск диаметром 34 мм обрабатывали с одной стороны мелкой наждачной бумагой и протирали ватой, смоченной этиловым спир-



том-ректификатом. Диск помещали в тефлоновую кассету и опускали пинцетом в стакан с подготовленным раствором. Стакан закрывали часовым стеклом и кипятили. Химическое выделение полония и висмута происходило спонтанно при интенсивном кипении раствора в течение 2 часов. По мере выкипания добавляли горячую дистиллированную воду до прежнего объёма. Через 2 часа стакан снимали, раствор выливали, кассету с диском вынимали пинцетом, обмывали дистиллированной водой. Затем осторожно извлекали диск из кассеты, снова обмывали его водой и высушивали на воздухе. Время окончания электрохимического осаждения фиксировали в лабораторном журнале [2]. Подготовленный таким образом счётный образец измеряли на альфа-бета-радиометре РКС-01А «Абелия» (НТЦ «Амплитуда»).

После спонтанного осаждения счётный образец, кроме  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Bi}$ , мог содержать короткоживущие альфа-излучающие изотопы полония ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{216}\text{Po}$  и  $^{212}\text{Po}$ ) и короткоживущие бета-излучающие изотопы висмута ( $^{210}\text{Bi}$  и  $^{210}\text{Po}$ ). Поэтому измерения счётного образца проводили не ранее чем через 10 часов после его приготовления, когда распадаются эти изотопы.

Для проб с низкими активностями определяемых изотопов выполнялась рекомендация проводить измерения на радиометре не позднее чем через 36 часов после электрохимического выделения. В этом промежутке времени бета-активность  $^{210}\text{Bi}$  снижалась только на 5–20 %. Распад  $^{210}\text{Bi}$  за это время учитывался введением поправочного коэффициента [2].

Результатом измерения счётного образца являлись активности  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Bi}$  (в радиоактивном равновесии с  $^{210}\text{Pb}$ ) с оценкой неопределённости измерений ( $P = 0.95$ ) [2].

### Основные соотношения для обработки результатов измерений

Обработка результатов выполнялась в соответствии с нижеописанным алгоритмом с использованием стандартного офисного приложения MS Excel.

Альфа-активность  $^{210}\text{Po}$  в счётном образце  $A_{обп}^{Po}$  (Бк) определялась как

$$A_{обп}^{Po} = \frac{I_{обп}^{\alpha} - I_{\phi}^{\alpha}}{\varepsilon^{Po}},$$

где  $I_{обп}^{\alpha}$  — средняя скорость счёта от счётного образца по альфа-каналу радиометра ( $\text{с}^{-1}$ );  $I_{\phi}^{\alpha}$  — средняя скорость счёта фона по альфа-каналу радиометра ( $\text{с}^{-1}$ );  $\varepsilon^{Po}$  — чувствительность радиометра к альфа-излучению  $^{210}\text{Po}$  в геометрии счётного образца ( $\text{Бк}^{-1}\text{с}^{-1}$ ).

Бета-активность  $^{210}\text{Bi}$  в счётном образце  $A_{обп}^{Bi}$  (Бк) определялась подобным же образом.

Чувствительность радиометра к альфа- и бета-излучению  $\varepsilon^{Po}$ ,  $\varepsilon^{Bi}$  определялась при проведении градуировки альфа-бета-радиометра с использованием эталонного источника.

Средние скорости счёта по альфа- и бета-каналам от счётного образца и фона были определены по результатам многократных наблюдений с одинаковой продолжительностью как

$$I_{обп}^{\alpha,\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{i,обп}^{\alpha,\beta}}{n \cdot \tau}, \quad I_{\phi}^{\alpha,\beta} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\phi}} N_{i,\phi}^{\alpha,\beta}}{n_{\phi} \cdot \tau_{\phi}},$$

где  $N_{i,обп}^{\alpha,\beta}$  и  $N_{i,\phi}^{\alpha,\beta}$  — число отсчётов в альфа- и бета-каналах радиометра при  $i$ -м наблюдении счётного образца и фона соответственно;  $\tau$  — продолжительность одного наблюдения счётного образца ( $\text{с}$ );  $\tau_{\phi}$  — продолжительность одного наблюдения фона ( $\text{с}$ );  $n$  — количество наблюдений счётного образца (не менее 5);  $n_{\phi}$  — количество наблюдений фона (10–20 наблюдений).

Средние скорости счёта фона радиометра определялись при измерении чистой подложки (диска).

Удельная активность  $^{210}\text{Po}$  в пробе  $A^{Po}$  (Бк/кг) определялась как

$$A^{Po} = \frac{A_{обп}^{Po}}{0,85 \cdot M},$$

где 0.85 — постоянный коэффициент (радиохимический выход  $^{210}\text{Po}$ );  $M$  — навеска пробы, отобранная для анализа (кг).

Удельная активность  $^{210}\text{Bi}$  в пробе  $A^{Pb}$  (Бк/кг) определялась как

$$A^{Pb} = \frac{A_{обп}^{Bi}}{0,85 \cdot M} \cdot \phi_{Bi},$$

где  $\phi_{Bi}$  — коэффициент, учитывающий распад  $^{210}\text{Bi}$  за время электрохимического осаждения до измерения; 0.85 — постоянный коэффициент (радиохимический выход  $^{210}\text{Bi}$ );  $M$  — навеска пробы, отобранная для анализа (кг).

Коэффициент  $\phi_{Bi}$  определялся из выражения:

$$\phi_{Bi} = \frac{1}{\exp(-\lambda_{Bi} \cdot t)},$$

где  $\lambda_{Bi}$  — постоянная распада  $^{210}\text{Bi}$  ( $\text{с}^{-1}$ );  $t$  — время от электрохимического осаждения до измерения счётного образца ( $\text{с}$ ).

Результат измерений был представлен в виде:

$$A^{Po} \pm U_A^{Po}, \quad A^{Pb} \pm U_A^{Pb},$$

где  $U_A^{Po,Pb}$  — абсолютная неопределённость измерений ( $P = 0.95$ ) для каждого изотопа соответственно.

$$U_A^{Po} = u_A^{Po} \cdot A^{Po}, \quad U_A^{Pb} = u_A^{Pb} \cdot A^{Pb},$$

где  $u_A^{Po,Pb}$  — абсолютная неопределённость результата измерения для каждого из изотопов определялась как

$$u_A = \sqrt{u_{st}^2 + \sum_j u_{\delta_j}^2},$$

где  $u_{st}$  — статистическая неопределённость измерения ( $P = 0.95$ ) для данного изотопа;  $u_{\delta_j}$  — неопределённости, обусловленные погрешностями средств измерения и метода.

Источниками неопределённости  $u_{\delta_j}$  в методике являются: погрешность, обусловленная флуктуациями радиохимического выхода изотопов ( $\delta_1 \leq 0.15$ ); погрешность отбора навески пробы ( $\delta_2 \leq 0.01$ ); погрешность определения чувствительности радиометра по отношению к альфа- и бета-излучению  $u_{\varepsilon} = \delta_3$ . При соблюдении требований методики

$$u_{\delta_j} = \delta_j.$$

Расчёт статистической неопределённости измерений ( $P = 0.95$ ) производился в следующей последовательности.



При многократных наблюдениях в неизменных условиях определяли стандартные отклонения результатов измерения счётного образца  $S_{обр}^{\alpha,\beta}$  и фона  $S_{ф}^{\alpha,\beta}$ :

$$S_{обр}^{\alpha,\beta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{i,обр}^{\alpha,\beta})^2 - n \cdot (I_{обр}^{\alpha,\beta})^2}{n \cdot (n-1)}},$$

$$S_{ф}^{\alpha,\beta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{ф}} (I_{i,ф}^{\alpha,\beta})^2 - n_{ф} \cdot (I_{ф}^{\alpha,\beta})^2}{n_{ф} \cdot (n_{ф} - 1)}},$$

где  $I_{i,обр,ф}^{\alpha,\beta}$  — значения скорости счёта по альфа- и бета-каналам радиометра при  $i$ -м наблюдении счётного образца и фона соответственно (индекс  $\alpha$  соответствует индексу Po, индекс  $\beta$  — Pb, так как измерения их активности проводятся по соответствующим каналам радиометра).

Статистические неопределённости измерения ( $P = 0.95$ ) счётного образца и фона составляют соответственно:

$$U_S^{\alpha,\beta} = 2S_{обр}^{\alpha,\beta}, U_{ф}^{\alpha,\beta} = 2S_{ф}^{\alpha,\beta}.$$

Относительная статистическая неопределённость измерения ( $P = 0.95$ ) для каждого из изотопов соответственно равна [2]:

$$u_S^{\alpha,\beta} = \frac{\sqrt{(U_S^{\alpha,\beta})^2 + (U_{ф}^{\alpha,\beta})^2}}{I_{обр}^{\alpha,\beta} - I_{ф}^{\alpha,\beta}}.$$

### Результаты исследования

Следуя радиохимическому методу, описанному выше,  $^{210}\text{Pb}$  в сухих образцах определяли после его радиохимического выделения и измеряли с помощью  $\beta$ -спектрометрии [2]. Исследование  $^{210}\text{Pb}$  в торфяном профиле ТВ-1 проводили до глубины 45 см, что было связано с отсутствием избыточного атмосферного  $^{210}\text{Pb}$  в нижележащих горизонтах. Общая активность  $^{210}\text{Pb}$  варьировалась от  $(185.2 \pm 38.6)$  Бк/кг в первой секции керна до  $(16.07 \pm 7)$  Бк/кг в нижней секции. Возраст нижнего основного слоя составлял  $(131.3 \pm 10.3)$  года (см. таблицу). Предполагаемое расчётное время (получено в ходе моделирования), которое ушло на образование каждой секции, варьировалось от 6.9 года в секции 1—6 см до 21.9 года в секции 43—45 см со средним значением 6.6 года.

### Результаты датирования $^{210}\text{Pb}$ и скоростей накопления массы для двух торфяных профилей

#### Results of dating $^{210}\text{Pb}$ and mass accumulation rates for two peat profiles

Шифр пробы Sample code	Глубина (см) Depth (cm)	Возраст (предшествующий отбору года) Age (years prior to sampling)	Линейная скорость накопления торфяных отложений (см·год <sup>-1</sup> ) Mass accumulation rate (cm·year <sup>-1</sup> )
ТВ-1 1	1	6.9 ± 1.5	0.145 ± 0.038
ТВ-1 2	6	13.4 ± 2.5	0.777 ± 0.025
ТВ-1 3	8	21.4 ± 3.8	0.252 ± 0.075
ТВ-1 4	10	26.1 ± 4.5	0.422 ± 0.128
ТВ-1 5	12	30.3 ± 5.0	0.479 ± 0.141
ТВ-1 6	14	33.7 ± 5.5	0.590 ± 0.182
ТВ-1 7	16	36.2 ± 5.7	0.780 ± 0.235
ТВ-1 8	18	39.8 ± 6.0	0.556 ± 0.169
ТВ-1 9	21	42.7 ± 6.1	1.047 ± 0.312
ТВ-1 10	23	46.5 ± 6.4	0.533 ± 0.155
ТВ-1 11	25	50.0 ± 6.5	0.566 ± 0.172
ТВ-1 12	27	53.2 ± 6.3	0.629 ± 0.194
ТВ-1 13	29	59.9 ± 6.6	0.309 ± 0.091
ТВ-1 14	31	64.9 ± 6.6	0.381 ± 0.114
ТВ-1 15	33	73.5 ± 7.1	0.236 ± 0.073
ТВ-1 16	35	80.2 ± 7.2	0.298 ± 0.089
ТВ-1 17	37	87.7 ± 7.3	0.269 ± 0.092
ТВ-1 18	39	96.5 ± 7.5	0.228 ± 0.074
ТВ-1 19	41	109.4 ± 8.1	0.157 ± 0.054
ТВ-1 20	43	131.3 ± 10.3	0.095 ± 0.027
ТВ-1 21	45	-	-
Td-1 1	1	2.6 ± 0.9	0.380 ± 0.116
Td-1 2	2	6.2 ± 0.9	0.281 ± 0.067
Td-1 3	4	10.3 ± 1.0	0.491 ± 0.161
Td-1 4	6	15.5 ± 1.1	0.386 ± 0.122
Td-1 5	8	20.9 ± 1.2	0.368 ± 0.112
Td-1 6	10	26.7 ± 1.1	0.349 ± 0.105
Td-1 7	12	30.5 ± 1.2	0.516 ± 0.148
Td-1 8	14	32.4 ± 1.5	1.091 ± 0.338
Td-1 9	16	35.6 ± 1.4	0.616 ± 0.154



Окончание таблицы

Шифр пробы Sample code	Глубина (см) Depth (cm)	Возраст (предшествующий отбору года) Age (years prior to sampling)	Линейная скорость накопления торфяных отложений (см·год <sup>-1</sup> ) Mass accumulation rate (cm·year <sup>-1</sup> )
Td-1 10	18	39.2 ± 1.5	0.557 ± 0.135
Td-1 11	20	41.7 ± 1.7	0.819 ± 0.183
Td-1 12	22	44.6 ± 1.8	0.679 ± 0.157
Td-1 13	24	49.9 ± 1.9	0.379 ± 0.086
Td-1 14	26	54.4 ± 2.1	0.443 ± 0.105
Td-1 15	28	58.1 ± 2.5	0.540 ± 0.147
Td-1 16	30	63.1 ± 2.7	0.401 ± 0.112
Td-1 17	32	67.5 ± 3.0	0.456 ± 0.144
Td-1 18	34	72.9 ± 3.3	0.370 ± 0.113
Td-1 19	36	79.2 ± 3.7	0.321 ± 0.100
Td-1 20	38	88.1 ± 4.3	0.227 ± 0.065
Td-1 21	40	97.0 ± 4.8	0.224 ± 0.055
Td-1 22	44	109.8 ± 4.9	0.159 ± 0.057
Td-1 23	46	131.8 ± 5.1	0.094 ± 0.039
Td-1 24	48	-	-

Линейная скорость накопления торфяных отложений для керн ТВ-1 в среднем составила 0.437 см·год<sup>-1</sup> (см. таблицу). Значения неопределённости скорости накопления массы уменьшились от (0.0447 ± 0.0308) г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> в верхнем слое до (0.0151 ± 0.0044) г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> в нижнем слое (43–45 см) (рис. 1). На рисунке не указано, но отметим, что среднее составило (0.308 ± 0.112) г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> и отмеченный максимум (0.1266 ± 0.0977) г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> приходится на 1979 год. Значения неопределённостей скорости накопления массы для керн ТВ-1 низкие в основном из-за того, что в расчёте <sup>226</sup>Ra не рассматривался как источник неопределённости. Полученные значения активности <sup>210</sup>Pb в нижних горизонтах керн свидетельствуют о радиоактивном равновесии с <sup>226</sup>Ra. Значения неопределённости скорости накопления массы (рис. 1) уменьшились от (0.145 ± 0.038) до (0.095 ± 0.027) см·год<sup>-1</sup>. Отмеченный максимум (1.047 ± 0.312) см·год<sup>-1</sup> приходится на 1976 год.

Исследование <sup>210</sup>Pb в торфяном профиле Td-1 проводили до глубины 48 см, что было связано с отсутствием избыточного атмосферного <sup>210</sup>Pb в нижележащих горизонтах. Общая активность <sup>210</sup>Pb варьировалась от (281.9 ± 45.7) в первой секции керн до (40.2 ± 6.5) Бк/кг в нижней секции. Возраст нижнего основного слоя составлял (131.8 ± 5.1) года (см. таблицу).

Предполагаемое расчётное время, полученное в ходе моделирования, которое ушло на образование каждой секции керн Td-1, варьировалось от 4.1 года в секции 1–2 см до 22 лет секции 44–46 см со средним значением 5.7 года (см. таблицу).

Значения неопределённости скорости накопления массы керн Td-1 (рис. 2) уменьшились от (0.0274 ± 0.0168) в верхнем слое до (0.0048 ± 0.0120) г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> в нижнем слое (44–46 см). Среднее не отображено на графике и составило (0.0307 ± 0.0146) г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>, также отмеченный максимум (0.0650 ± 0.0217) г·см/год приходится на 1986 год.

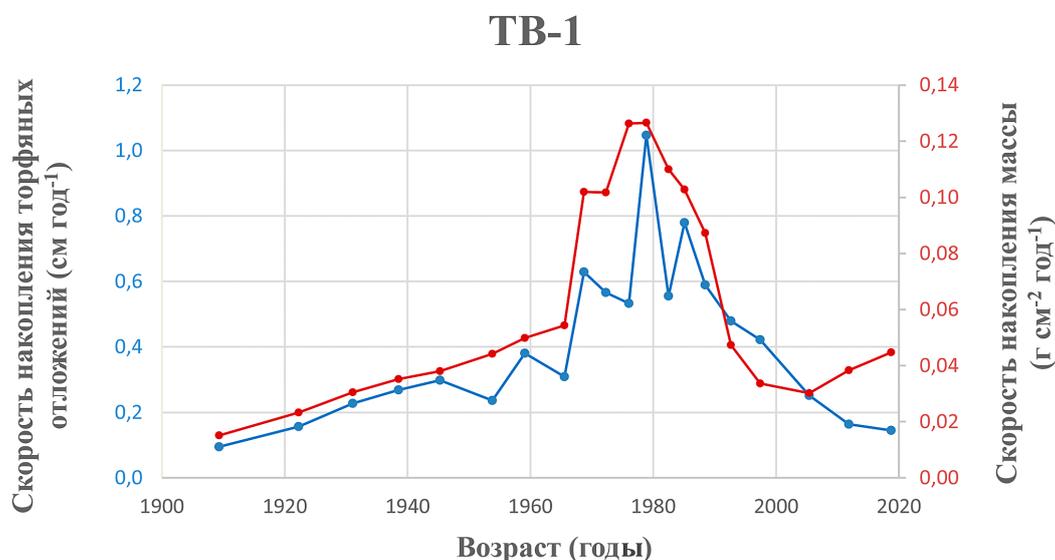
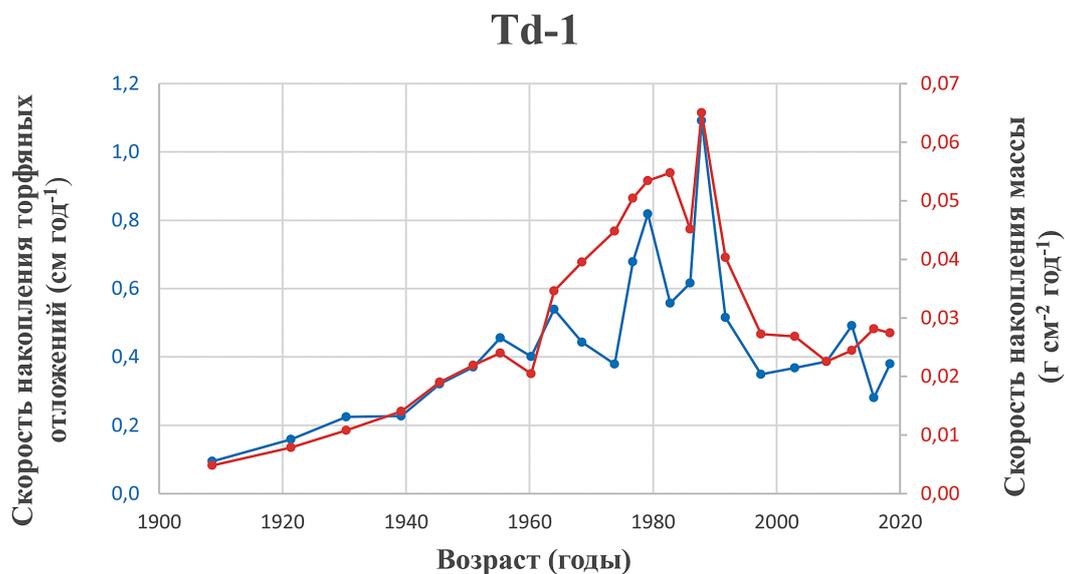


Рис. 1. Скорость накопления массы (красным цветом) и скорость накопления отложений (синим цветом) в торфяном профиле ТВ-1

Fig. 1. Mass accumulation rate (in red) and sediment accumulation rate (in blue) in the peat profile TB-1

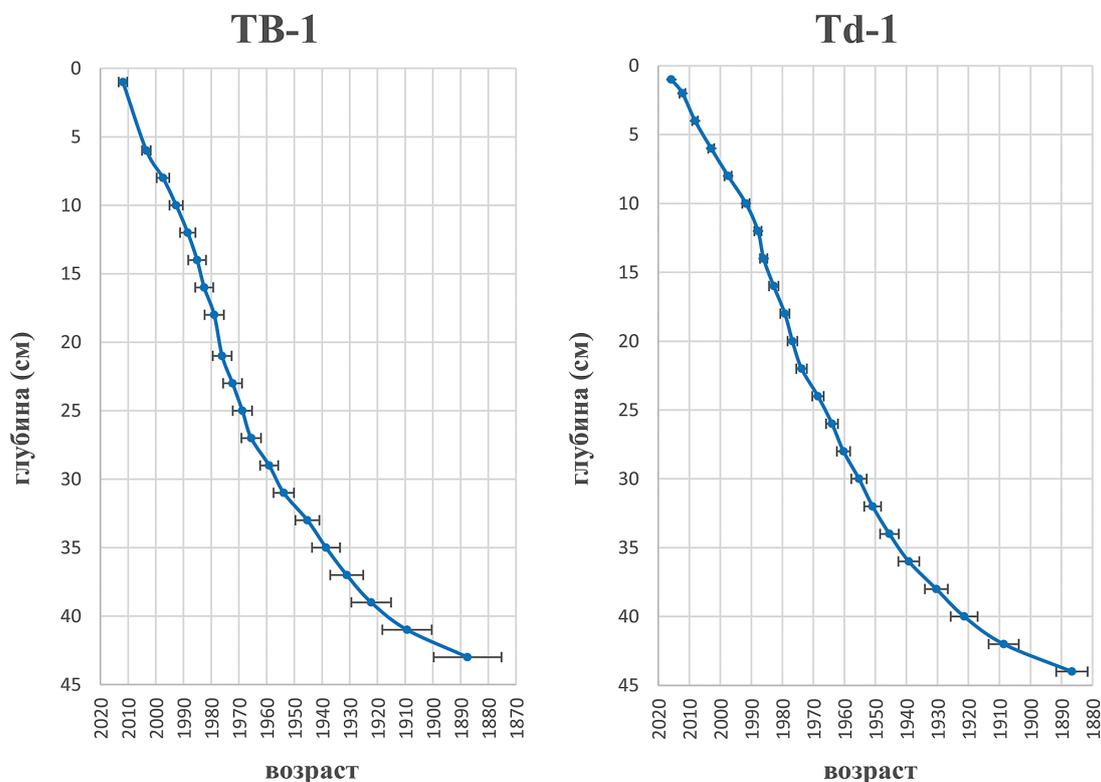


**Рис. 2.** Скорость накопления массы (красным цветом) и скорость накопления отложений (синим цветом) в торфяном профиле Td-1

**Fig. 2.** Mass accumulation rate (in red) and sediment accumulation rate (in blue) in the peat profile Td-1

Значения неопределённости скорости накопления торфяных отложений для керна Td-1 уменьшилось от  $(0.380 \pm 0.116)$  см·год<sup>-1</sup> до  $(0.094 \pm 0.039)$  см·год<sup>-1</sup> (рис. 2). Среднее не отображено на графике и составило  $(0.4412 \pm 0.159)$  см·год<sup>-1</sup>, также отмеченный максимум  $(1.0913 \pm 0.02230)$  г·см<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> приходится на 1986 год.

Результаты датирования <sup>210</sup>Pb показаны в таблице и на рис. 3. Возраст торфяных кернов был рассчитан для каждого выделенного диапазона глубин керна в пределах общей глубины керна. Средние скорости аккумуляции торфа в разрезах ТВ-1 и Td-1 являются очень близкими, что, вероятно, связано со схожими факторами окружающей среды, которые обуслови-



**Рис. 3.** Результаты датирования <sup>210</sup>Pb для двух торфяных профилей (ТВ-1 и Td-1). Рассчитаны по модели неопределённости Монте-Карло. Модель основана на модели Постоянного потока

**Fig. 3.** <sup>210</sup>Pb chronologies for two peat profiles (ТВ-1 and Td-1) calculated using Monte Carlo uncertainty model. Model is based on the Constant Flux model



вают примерно одинаковые линейные скорости накопления торфа.

Атмосферный поток  $^{210}\text{Pb}$  для поверхности керна ТВ-1 составил  $(91.67 \pm 0.22)$  Бк·м<sup>2</sup>·год<sup>-1</sup>, для Тд-1 —  $(80.45 \pm 1.08)$  Бк·м<sup>2</sup>·год<sup>-1</sup>. Для северных широт (30–60°) средний поток  $^{210}\text{Pb}$  составляет 117 Бк·м<sup>2</sup>·год<sup>-1</sup> [39]. Для стран Северной Европы (Финляндия, Швеция и Эстония) рассчитанный поток свинца-210 находится в диапазоне 50–92 Бк·м<sup>2</sup>·год<sup>-1</sup> [36, 39, 42]. Как видно из полученных данных, атмосферный поток  $^{210}\text{Pb}$ , рассчитанный для Архангельской области, сопоставим с данными по другим территориям Северной Европы.

## Выводы

В этом исследовании рассматривалось применение моделирования по методу Монте-Карло для оценки погрешностей (неопределённостей)  $^{210}\text{Pb}$ -датирования торфяных отложений Европейской Субарктики России на примере профилей ТВ-1 и Тд-1, отобранных в Приморском и Мезенском районах Архангельской области. Указанный метод моделирования позволяет оценить неопределённости датирования  $^{210}\text{Pb}$  и темпы осадконакопления. На основе указанного моделирования произведён расчёт и получены следующие параметры: атмосферный поток  $^{210}\text{Pb}$ , возраст секции торфяных профилей, среднее временное разрешение между ними, а также темпы осадконакопления. Последние варьировали в зависимости от рассматриваемого слоя, но в среднем значения были сопоставимы друг с другом. Средние скорости аккумуляции торфа в разрезах ТВ-1 и Тд-1 являются очень близкими, что, вероятно, связано со схожими факторами окружающей среды, обуславливающими примерно одинаковые линейные скорости накопления торфа. Атмосферный поток  $^{210}\text{Pb}$ , рассчитанный для торфяников Архангельской области, сопоставим с данными по другим территориям Северной Европы — Финляндии, Швеции, Эстонии.

Предполагаем, что оба керны могут предоставить ценную информацию об изменениях потоков атмосферного загрязнения в регионе, так как болота имеют преимущественно атмосферное питание.

Полученные данные для кернов верхних торфяников Архангельской области показали, что используемый в данной работе метод моделирования может быть успешно применен для исследования хронологии других молодых осадочных отложений, в частности донных осадков.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 19-55-04001.*

## Литература

1. Антипин В. К., Елина Г. А., Токарев П. Н., Бразовская Т. И. Болотные экосистемы национального природного парка «Водлозерский» // Ботанический журнал. 1996. Т. 81. № 1. С. 21–38.
2. Бахур А. Е., Мануилова Л. И., Зуев Д. М., Овсянникова Т. М., Трухина Т. П. Методика измерений удельной активности полония-210 ( $^{210}\text{Po}$ ) и свинца-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) в пробах почв,

грунтов, донных отложений, горных пород и строительных материалов на их основе альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ВИМС, 2013. 17 с.

3. Бобров А. А. Геоботаника. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2004. 45 с.
4. Евзеров В. Я. Торфяные месторождения Мурманской области // Вестник ВГУ. 2012. № 2. С. 153–157.
5. Инишева Л. И. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России. Томск: ЦНТИ, 2005. 76 с.
6. Киселев Г. П., Баженов А. В., Киселева И. М. Радиоактивные изотопы в почвах Архангельской промышленной агломерации // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». 2013. № 4. С. 12–20.
7. Малыгин П. В., Любов В. К. Исследование структуры, состава и свойств торфа // Вестник Череповецкого государственного университета. 2014. № 5. С. 12–18.
8. Михайлов А. В., Иванов С. Л., Большунов А. В., Кремчев Э. А. Торфяные ресурсы Северо-Западного федерального округа России и перспективы их освоения // Записки Горного института. 2013. № 200. С. 226–230.
9. Носкова М. Г. Полевой атлас-определитель сфагновых мхов таёжной зоны Европейской России. Тула: Аквариус, 2016. 112 с.
10. Селянина С. Б., Парфёнова Л. Н., Труфанова М. В., Боголицын К. Г., Мальцева Е. В., Богданов М. В., Ярыгина О. Н. Экстракция битумов из верхнего торфа // Вестник САФУ. 2013. Серия «Химия». № 1. С. 43–50.
11. Сорокина Г. А., Пахарькова Н. В., Шашкова Т. Л., Субботин М. А. Полевая практика по геоботанике. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 30 с.
12. Ali A. A., Ghaleb B., Garneau M., Asnong H., Loisel J. Recent peat accumulation rates in minerotrophic peatlands of the Bay James region, Eastern Canada, inferred by  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radiometric techniques // Applied Radiation and Isotopes. 2008. № 66. P. 1350–1358.
13. Appleby P. G. Three decades of dating recent sediments by fallout radionuclides: a review // The Holocene, 2008. № 18(1). P. 83–93.
14. Appleby P. G., Oldfield F. The calculation of  $^{210}\text{Pb}$  dates assuming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment // Catena, 1978. № 5. P. 1–8.
15. Binford M. W. Calculation and uncertainty analysis of 21 dates for PIRLA project lake cores // J. Paleolimnol, 1990. № 3. P. 253–268.
16. Byzova N. M., Preminina Y. K. Geography of the Arkhangelsk region. Moscow: Sport Akadem Press, 2001. 183 p.
17. Chambers F. M., Mauquoy D., Todd P. A. Recent rise to dominance of *Molinia caerulea* in environmentally sensitive areas: new perspectives from palaeoecological data // Journal of Applied Ecology, 1999. № 36. P. 719–733.
18. Charman D. J. Summer water deficit variability controls on peatland watertable changes: implications for Holocene palaeoclimate reconstructions // The Holocene, 2007. № 17. P. 217–227.
19. Dowdall M., Gwynn J. P., Moran C., Davids C., O'Dea J., Lind B. Organic soil as a radionuclide sink in a High Arctic environment // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005. № 266 (2). P. 217–223.
20. Ellison S. L. R., Mosslein M., Williams A. Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, second ed. EURACHEM/CITAC. London. 2000.



21. *Fialkiewicz-koziel B., Kolaczek P., Piotrowska N., Michczyński A., Łokas E., Wachniew P., Woszczyk M., Sensula B.* High-Resolution Age-Depth Model of a Peat Bog in Poland as an Important Basis for Paleoenvironmental Studies // *Radiocarbon*, 2014. № 56 (1). P. 109–125.
22. *Gwynn J. P., Dowdall M., Lind B.* The Radiological Environment of Svalbard. *Strelevern Rapport 2004:2*. Østeres: Norwegian Radiation Protection Authority, 2004. 55 p.
23. *Hallstadius L., Holm E., Persson B., Aarkrog A., Nilsson K.*  $^{137}\text{Cs}$  in the Svalbard Area. Proceedings of 3. International Symposium on Radiological Protection: Advances in Theory and Practice, 1982. Vol. 2. P. 500–505.
24. *Hansson S. V., Kaste J. M., Olid C., Bindler R.* Incorporation of radiometric tracers in peat and implications for estimating accumulation rates // *Science of The Total Environment*, 2014. № 493. P. 170–177.
25. *Hellstrom J.* U-Th dating of speleothems with high initial  $^{230}\text{Th}$  using stratigraphical constraint // *Quat. Geochronol.*, 2006. № 1 (4). P. 289–295.
26. *Hendon D., Charman D. J.* High-resolution peatland water-table changes for the past 200 years: the influence of climate and implications for management // *The Holocene*, 2004. № 14. P. 125–134.
27. *Joosten H.* Peatlands, climate change mitigation and biodiversity conservation. Nordic Council of Ministers, 2015. 15 p.
28. *Karcher M., Harms I., Standring W. J. F., Dowdall M., Strand P.* On the potential for climate change impacts on marine anthropogenic radioactivity in the Arctic regions // *Mar. Pollut. Bull.*, 2010. № 60. P. 1151–1159.
29. *Krishnaswamy S., Lal D., Martin J., Meybeck M.* Geochronology of lake sediments // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1971. № 11. P. 407–414.
30. *Kutinov Y. G., Chistova Z. B.* Hierarchical series of manifestations of alkaline-ultrabasic magmatism in the Arkhangelsk diamondiferous province. Their reflection in geological and geophysical materials. Arkhangelsk: Pravda Severa, 2004.
31. *Maloshian I., Polishchuk S., Kashparov V., Yoschenko V.* Assessment of radiological efficiency of countermeasures on peat-bog soils of Ukrainian Polissya // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017. № 175–176. P. 52–59.
32. *Matishov G. G., Matishov D. G., Usyagina I. S., Kasatkina N. E.* Long-term dynamics of radioactive contamination in the Barents-Kara region (1960–2013) // *Doklady Earth Sciences*, 2014. Vol. 458. № 4. P. 473–479.
33. *Mroz T., Łokas E., Kocurek J., Gasiorek M.* Atmospheric fallout radionuclides in peatland from Southern Poland // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017. № 175–176, P. 25–33.
34. *Nifontova M. G.* Use of lichens and mosses for on-line testing of environmental radioactive contamination // *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2005. № 41. P. 80–84.
35. *Olid C., Garcia-Orellana J., Masqué P., Martinez C. A., Sanchez-Cabeza J. A., Bindler R.* Improving the  $^{210}\text{Pb}$ -chronology of Pb deposition in peat cores from Chao de Lamoso (NW Spain) // *Science of The Total Environment*, 2013. № 443. P. 597–607.
36. *Paatero J., Jaakkola T., Kulmala S.* Lichen (sp. *Cladonia*) as a deposition indicator for transuranium elements investigated with the Chernobyl fallout // *Journal of Environmental Radioactivity*, 1998. № 38. P. 223–247.
37. *Parry L. E., Charman D. J., Blake W. H.* Comparative dating of recent peat deposits using natural and anthropogenic fall-out radionuclides and Spheroidal Carbonaceous Particles (SCPs) at a local and landscape scale // *Quaternary Geochronology*, 2013. № 15. P. 11–19.
38. *Persson B. R.*  $^{210}\text{Pb}$ -Atmospheric deposition in lichen-carpeted in northern Sweden during 1961–1969. *Tellus*, 1970. P. 564–571.
39. *Preiss N., Méliures M.-A., Pourchet M.* A compilation of data on lead 210 concentration in surface air and fluxes at the air-surface and water-sediment interfaces // *J. Geophys. Res.*, 1996. Vol. 101, № D22. P.28847–28862.
40. *Quinto F., Hreneck E., Kachler M., Shotyk W., Steier P., Winkler S. R.* Determination of  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  and  $^{242}\text{Pu}$  at femtogram and attogram levels evidence for the migration of fall-out plutonium in an ombrotrophic peat bog profile // *Env. Sci. Process. Impact*, 2013. № 15. P. 839–847.
41. *Ramsey C. B., van der Plicht J., Weninger B.* ‘Wiggle matching’ radiocarbon dates // *Radiocarbon*, 2001. № 43 (2A). P. 381–389.
42. *Realo K., Realo E.*  $^{210}\text{Pb}$  in Estonian soil // *IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe*. Dubrovnik, Croatia, 2001. P. 1–6.
43. *Robbins J. A.* Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes // *Biochemistry of Lead*. Amsterdam: Elsevier, 1978. P. 85–393.
44. *Roux G. L., Marshall W. A.* Constructing recent peat accumulation chronologies using atmospheric fall-out radionuclides // *Mires and Peat*, 2011. Vol. 7 (2010/11). Article 08. P. 1–14.
45. *Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernandez A. C., Ontiveros-Cuadras J. F., Peres Bernal L. H., Olid C.* Monte Carlo uncertainty calculation of  $^{210}\text{Pb}$  chronologies and accumulation rates of sediments and peat bogs // *Quaternary Geochronology*, 2014. № 23. P. 80–93.
46. *Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernandez A. C.*  $^{210}\text{Pb}$  sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models // *Geochim. Cosmochim.*, 2012. Acta 82. P. 183–200.
47. *Shotyk W., Weiss D., Appleby P. G., Cheburkin A. K., Frei R., Gloor M., Kramers J. D., Reese S., Van Der Knaap W. O.* History of atmospheric lead deposition since 12,370  $^{14}\text{C}$  yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland // *Science*, 1998. № 281. P. 1635–1640.
48. *Smith J. N., Ellis K. M., Polyak L., Ivanov G., Forman S. L., Moran S. B.*  $^{239,240}\text{Pu}$  transport into the Arctic Ocean from underwater nuclear tests in Chernaya Bay, Novaya Zemlya // *Cont. Shelf Res.*, 2000. № 20 (3). P. 255–279.
49. *Strack M.* Peatlands and Climate Change. Jyväskylä, International Peat Society. 2008. 235 p.
50. *Strand P., Howard B. J., Aarkrog A., Balonov M., Tsaturov Y., Bewers J. M., Salo A., Sickel M., Bergman R., Rissanen K.* Radioactive contamination in the Arctic-sources, dose assessment and potential risks // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2002. № 60 (1–2). P. 5–21.
51. *Taylor B. N., Kuyatt C. E.* Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. NIST Tech. Note 1297. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1994. 20 p.
52. *Tokarev I. V.* Reconstruction of conditions for the formation of the Severodvinsk iodine water deposit according to isotopic data // *Vestnik of Saint Petersburg University*, 2012. № 4. P. 191–195.
53. *Vile M. A., Wieder K. R., Novak M.* Mobility of Pb in Sphagnum-derived peat // *Biogeochemistry*, 1999. № 45. P. 35–52.
54. *Vinichuk M. M., Johanson K. J., Taylor A.*  $^{137}\text{Cs}$  in the fungal compartments of Swedish forest soils // *Sci. Total Environ.*, 2004. № 323. P. 243–251.



## References

1. Antipin V. K., Elina G. A., Tokarev P. N., Brazovskaya T. I. *Bolotnye ekosistemy nacional'nogo prirodnogo parka «Vodlozerskij»* (Swamp ecosystems of the national natural park "Vodlozersky"). *Botanicheskij zhurnal*, 1996, V. 81, No. 1, pp. 21–38.
2. Bahur A. E., Manuilova L. I., Zuev D. M., Ovsyannikova T. M., Truhina T. P. *Metodika izmerenij udel'noj aktivnosti polonija-210 ( $^{210}\text{Po}$ ) i svinca-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) v probah pochv, gruntov, donnyh otlozhenij, gornyh porod i stroitel'nyh materialov na ih osnove al'fa-beta-radiometricheskim metodom s radiohimicheskoj podgotovkoj* (Method for measuring the specific activity of polonium-210 ( $^{210}\text{Po}$ ) and lead-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) in soil samples, soils, bottom sediments, rocks and building materials). Moscow: VIMS, 2013, 17 p.
3. Bobrov A. A. *Geobotanika* (Geobotany). Rybinsk: Rybinsk publishing house, 2004, 45 p.
4. Evzerov V. Ya. *Torfyanye mestorozhdeniya Murmanskoy oblasti* (Peat deposits in the Murmansk region). *Vestnik VGU*, 2012, No. 2, pp. 153–157.
5. Inisheva L. I. *Koncepciya ohrany i racional'nogo ispol'zovaniya torfyanyh bolot Rossii* (The concept of protection and rational use of peat bogs in Russia). Tomsk: CNTI, 2005, 76 p.
6. Kiselev G. P., Bazhenov A. V., Kiseleva I. M. *Radioaktivnye izotopy v pochvah Arhangel'skoj promyshlennoj aglomeracii* (Radioactive isotopes in the soils of the Arkhangelsk industrial agglomeration). *Bulletin of Northern (Arctic) Federal University, Natural sciences*, 2013, No. 4. pp. 12–20.
7. Malygin P. V., Lyubov V. K. *Issledovanie struktury, sostava i svoystv torfa* (Study of peat composition structure and properties). *Bulletin of Cherepovets University*, 2014, No. 5. pp. 12–18.
8. Mihajlov A. V., Ivanov S. L., Bol'shunov A. V., Kremcheev E. A. *Torfyanye resursy Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii i perspektivy ih osvoeniya* (Peat resources of the North-West Federal District of Russia and the prospects for their development). *Proceedings of Mining University*, 2013, No. 200, pp. 226–230.
9. Noskova, M. G. *Polevoj atlas-opredelitel' s'fagnovyh mhov tayozhnoj zony Evropejskoj Rossii* (Field atlas-determinant of sphagnum mosses in the taiga zone of European Russia). Tula: Akvarius, 2016.
10. Selyanina S. B., Parfyonova L. N., Trufanova M. V., Bogolicyn K. G., Malseva E. V., Bogdanov M. V., Yarygina O. N. *Ekstrakcija bitumov iz verhovogo torfa* (Extraction of bitumen from high peat). *SAFU bulletin. Chemistry*, 2013, No. 1, pp. 43–50.
11. Sorokina G. A., Paharkova N. V., Shashkova T. L., Subbotin M. A. *Polevaya praktika po geobotanike* (Field practice in geobotany). Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2012, 30 p.
12. Ali A. A., Ghaleb B., Garneau M., Asnong H., Loisel J. Recent peat accumulation rates in minerotrophic peatlands of the Bay James region, Eastern Canada, inferred by  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radiometric techniques. *Applied Radiation and Isotopes*, 2008, No. 66. pp. 1350–1358.
13. Appleby P. G. Three decades of dating recent sediments by fallout radionuclides: a review. *The Holocene*, 2008, No. 18 (1), pp. 83–93.
14. Appleby P. G., Oldfield F. The calculation of  $^{210}\text{Pb}$  dates assuming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment. *Catena*, 1978, No. 5, pp. 1–8.
15. Binford M. W. Calculation and uncertainty analysis of 21 dates for PIRLA project lake cores. *J. Paleolimnol*, 1990, No. 3, pp. 253–268.
16. Byzova N. M., Preminina Y. K. 2001. *Geography of the Arkhangelsk region*. Moscow: Sport Akadem Press, 2001, 183 p.
17. Chambers, F. M., Mauquoy, D., Todd, P. A., Recent rise to dominance of *Molinia caerulea* in environmentally sensitive areas: new perspectives from palaeoecological data. *Journal of Applied Ecology*, 1999, No. 36, pp. 719–733.
18. Charman D. J. Summer water deficit variability controls on peatland watertable changes: implications for Holocene palaeoclimate reconstructions. *The Holocene*, 2007, No. 17, pp. 217–227.
19. Dowdall M., Gwynn J. P., Moran C., Davids C., O'Dea J., Lind B. Organic soil as a radionuclide sink in a High Arctic environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2005, No. 266 (2), pp. 217–223.
20. Ellison S. L. R., Mosslein M., Williams A. *Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*, second ed. EURACHEM/CITAC, London, 2000.
21. Fialkiewicz-koziel B., Kołaczek P., Piotrowska N., Michczyński A., Łokas E., Wachniew P., Woszczyk M., Sensuła B. High-Resolution Age-Depth Model of a Peat Bog in Poland as an Important Basis for Paleoenvironmental Studies. *Radiocarbon*, 2014, No. 56 (1), pp. 109–125.
22. Gwynn J. P., Dowdall M., Lind B. The Radiological Environment of Svalbard. *Strelevern Rapport 2004:2. IIIsteres: Norwegian Radiation Protection Authority*, 2004, 55 p.
23. Hallstadius L., Holm E., Persson B., Aarkrog A., Nilsson K.  $^{137}\text{Cs}$  in the Svalbard Area. *Proceedings of 3. International Symposium on Radiological Protection. Advances in Theory and Practice*, 1982, vol. 2, pp. 500–505.
24. Hansson S. V., Kaste J. M., Olid C., Bindler R. Incorporation of radiometric tracers in peat and implications for estimating accumulation rates. *Science of The Total Environment*, 2014, No. 493, pp. 170–177.
25. Hellstrom J. U-Th dating of speleothems with high initial  $^{230}\text{Th}$  using stratigraphical constraint. *Quat. Geochronol*, 2006, No 1 (4), pp. 289–295.
26. Hendon D., Charman D. J. High-resolution peatland water-table changes for the past 200 years: the influence of climate and implications for management. *The Holocene*, 2004, No. 14, pp. 125–134.
27. Joosten H. *Peatlands, climate change mitigation and biodiversity conservation*. Nordic Council of Ministers, 2015, 15 p.
28. Karcher M., Harms I., Strandring W. J. F., Dowdall M., Strand P. On the potential for climate change impacts on marine anthropogenic radioactivity in the Arctic regions. *Mar. Pollut. Bull.* 2010, No. 60, pp. 1151–1159.
29. Krishnaswamy S., Lal D., Martin J., Meybeck M. Geochronology of lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1971, No. 11, pp. 407–414.
30. Kutinov Y. G., Chistova Z. B. Hierarchical series of manifestations of alkaline-ultrabasic magmatism in the Arkhangelsk diamondiferous province. Their reflection in geological and geophysical materials. Arkhangelsk: Pravda Severa, 2004.
31. Maloshtan I., Polishchuk S., Kashparov V., Yoschenko V. Assessment of radiological efficiency of countermeasures on peat-bog soils of Ukrainian Polissya. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, No. 175–176, pp. 52–59.
32. Matishov G. G., Matishov D. G., Usyagina I. S., Kasatkina N. E. Long-term dynamics of radioactive contamination in the Barents-Kara region (1960–2013). *Doklady Earth Sciences*, 2014, Vol. 458, No. 4, pp. 473–479.
33. Mroz T., Łokas E., Kocurek J., Gasiorek M. Atmospheric fallout radionuclides in peatland from Southern Poland. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, No. 175–176, pp. 25–33.



34. Nifontova M. G. Use of lichens and mosses for on-line testing of environmental radioactive contamination. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2005, No. 41, pp. 80–84.
35. Olid C., Garcia-Orellana J., Masquй P., Martнnez C. A., Sanchez-Cabeza J. A., Bindler R. Improving the  $^{210}\text{Pb}$ -chronology of Pb deposition in peat cores from Chao de Lamoso (NW Spain). *Science of The Total Environment*, 2013, No. 443, pp. 597–607.
36. Paatero J., Jaakkola T., Kulmala S. Lichen (sp. *Cladonia*) as a deposition indicator for transuranium elements investigated with the Chernobyl fallout. *Journal of Environmental Radioactivity*, 1998, No. 38, pp. 223–247.
37. Parry L. E., Charman D. J., Blake W. H. Comparative dating of recent peat deposits using natural and anthropogenic fall-out radionuclides and Spheroidal Carbonaceous Particles (SCPs) at a local and landscape scale. *Quaternary Geochronology*, 2013, No. 15, pp. 11–19.
38. Persson B. R.  $^{210}\text{Pb}$ -Atmospheric deposition in lichen-carpeted in northern Sweden during 1961–1969, *Tellus*, 1970, 571 p.
39. Preiss N., Мйлиures M.-A., Pourchet M. A compilation of data on lead 210 concentration in surface air and fluxes at the air-surface and water-sediment interfaces. *J. Geophys. Res.*, 1996, Vol 101. No. D22, p. 28847–2882.
40. Quinto F., Hreneck E., Kachler M., Shotyк W., Steier P., Winkler S. R. Determination of  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  and  $^{242}\text{Pu}$  at femtogram and attogram levels evidence for the migration of fallout plutonium in an ombrotrophic peat bog profile. *Env. Sci. Process. Impact*, 2013, No. 15, pp. 839–847.
41. Ramsey C. B., van der Plicht J., Weninger B. ‘Wiggle matching’ radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 2001, No. 43 (2A), pp. 381–389.
42. Realo K., Realo E.  $^{210}\text{Pb}$  in Estonian soil. In: *Proc. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe*. Dubrovnik, Croatia, 2001, pp. 1–6.
43. Robbins J. A. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes. *Biochemistry of Lead*. Amsterdam, Elsevier, 1978, pp. 85–393.
44. Roux G. L., Marshall W. A. Constructing recent peat accumulation chronologies using atmospheric fall-out radionuclides. *Mires and Peat*, 2011, vol. 7 (2010/11), article 08, pp. 1–14.
45. Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernandez A. C., Ontiveros-Cuadras J. F., Peres Bernal L. H., Olid C. Monte Carlo uncertainty calculation of  $^{210}\text{Pb}$  chronologies and accumulation rates of sediments and peat bogs. *Quaternary Geochronology*, 2014, No. 23, pp. 80–93.
46. Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernandez A. C.  $^{210}\text{Pb}$  sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models. *Geochim. Cosmochim.*, 2012, Acta 82, pp. 183–200.
47. Shotyк W., Weiss D., Appleby P. G., Cheburkin A. K., Frei R., Gloor M., Kramers J. D., Reese S., Van Der Knaap W. O. History of atmospheric lead deposition since 12,370 14C yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland. *Science*, 1998, No. 281, pp. 1635–1640.
48. Smith J. N., Ellis K. M., Polyak L., Ivanov G., Forman S. L., Moran S. B.  $^{239,240}\text{Pu}$  transport into the Arctic Ocean from underwater nuclear tests in Chernaya Bay, Novaya Zemlya. *Cont. Shelf Res.*, 2000, No. 20 (3), pp. 255–279.
49. Strack M. Peatlands and Climate Change. *Jyvaskylä, International Peat Society*. 2008, 235 p.
50. Strand P., Howard B. J., Aarkrog A., Balonov M., Tsaturov Y., Bewers J. M., Salo A., Sickel M., Bergman R., Rissanen K. Radioactive contamination in the Arctic-sources, dose assessment and potential risks. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2002, No. 60 (1–2), pp. 5–21.
51. Taylor B. N., Kuyatt C. E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. *NIST Tech. Note 1297*. Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1994, 20 p.
52. Tokarev I. V. Reconstruction of conditions for the formation of the Severodvinsk iodine water deposit according to isotopic data. *Vestnik of Saint Petersburg University*, 2012. no. 4, pp. 191–195.
53. Vile M. A., Wieder K. R., Novak M. Mobility of Pb in Sphagnum-derived peat. *Biogeochemistry*, 1999, No. 45, pp. 35–52.
54. Vinichuk M. M., Johanson, K. J., Taylor A.  $^{137}\text{Cs}$  in the fungal compartments of Swedish forest soils. *Sci. Total Environ.*, 2004, No. 323, pp. 243–251.

Поступила в редакцию / Received 16.04.2019

**ИЗ ОПЫТА ПРЕПОДАВАНИЯ. V. ФЕДОРОВСКИЕ ПАРАЛЛЕЛОЭДРЫ****Ю. Л. Войтеховский**

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

*Voytekhovskiy\_YuL@pers.spmi.ru*

В статье обращено внимание на то, что есть 5 федоровских параллелоэдров, а не 4, как указывают некоторые авторы: трипараллелоэдр (куб), тетрапараллелоэдр (комбинация гексагональной призмы и пинакоида), два гексапараллелоэдра (ромбододекаэдр и «удлиненный ромбододекаэдр», т. е. комбинация тетрагональной призмы и тетрагональной дипирамиды), гептапараллелоэдр (специальная, с равными ребрами, комбинация куба и октаэдра). Гексапараллелоэдры образуют в пространстве сходным образом устроенные и расположенные «колонны» (термин Е. С. Федорова). Но они имеют разные комбинаторные типы, не получаются друг из друга однородными деформациями и должны трактоваться в курсе кристаллографии как различные.

**Ключевые слова:** федоровские параллелоэдры, комбинаторный тип выпуклого полиэдра, однородная деформация.

**FROM TEACHING EXPERIENCE. V. FEDOROV'S PARALLELOHEDRA****Yu. L. Voytekhovsky**

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

The article draws attention to the fact that there are 5 Fedorov's parallelohedra, and not 4, as some authors indicate: a triparallelohedron (cube), a tetraparallelohedron (a combination of a hexagonal prism and a pinacoid), 2 hexaparallelohedra (a rhombic dodecahedron and an «elongated rhombic dodecahedron», i. e. a combination of a tetragonal prism and a tetragonal dipyramid), a heptaparallelohedron (a special, with equal edges, combination of a cube and an octahedron). Hexaparallelohedra form in space similarly arranged and located "columns" (term of E. S. Fedorov). But they have different combinatorial types, cannot be obtained from each other by homogeneous deformations, and should be treated in the course of crystallography as different ones.

**Keywords:** Fedorov's parallelohedra, combinatorial type of a convex polyhedron, homogeneous deformation.

**Введение**

В минералогическом отделе музея Санкт-Петербургского горного университета, в витрине, посвященной достижениям Е. С. Федорова, есть экспозиция о четырех способах заполнения пространства параллелоэдрами. На мой вопрос, где же пятый, после проверки каталогов был дан ответ: «У такого-то мастера в 1937 г. (!) приняты четыре модели. Стало быть, все на месте»...

Тема о федоровских параллелоэдрах важна в преподавании кристаллографии. Ее обсуждение ждало своей очереди. Приведём отрывок одной из статей: «После этого и наступила эпоха теорий заполнения пространства выпуклыми, равными по размеру и смежными по плоскостям многогранниками, названными Евграфом Федоровым параллелоэдрами. Оказалось, что таких фигур может быть только четыре — куб, гексагональная призма с пинакоидом, ром(бо)додэкаэдр (*опечатка в источнике.* — Ю. В.) и федоровский кубооктаэдр с 36 равными ребрами. Выяснилось, что все остальные параллелоэдры, описывающие реальные кристаллы, могут быть математически выведенными из этих федоровских фигур путем однородных деформаций. Вот так Е. С. Федоров и получил все типы решеток Браве...» [3, с. 38]. Вполне обозначилось противоречие, с которым следует разобраться.

**Из истории вопроса**

Обратимся к авторитетным мнениям. Характеризуя «Начала учения о фигурах», И. И. Шафрановский пишет: «Е. С. Федоров впервые исчерпывающе рассматривает законы выполнения пространства. Он выводит телесные фигуры (многогранники), которые всецело выполняют пространство, будучи равными, параллельно расположенными и смежными по целым граням. Называя такие фигуры параллелоэдрами, он устанавливает, что мыслимы только четыре типа таких многогранников: трипараллелоэдры (кубы и продукты их однородных деформаций), тетрапараллелоэдры (гексагональные призмы с пинакоидом и продукты их деформаций), гексапараллелоэдры (ромбододекаэдры и продукты их деформаций) и гептапараллелоэдры (кубооктаэдры и продукты их деформаций). Кроме того, удлиненный — растянутый — гексапараллелоэдр рассматривается самостоятельно как пятый тип. Под однородными деформациями подразумеваются сдвиги и растяжения» [6, с. 278].

А вот мнение Б. Н. Делоне, автора фундаментальных результатов в основаниях математической кристаллографии: «Традиция приписывает Платону открытие пяти правильных выпуклых многогранников, Архимеду — тринадцати выпуклых полуправильных многогранников, Кеплеру и Пуансо — четырех пра-

**Для цитирования:** Войтеховский Ю. Л. Из опыта преподавания. V. Федоровские параллелоэдры // Вестник геонаук. 2020. 7(307). С. 26—31. DOI: 10.19110/geov.2020.7.4.

**For citation:** Voytekhovsky Yu. L. From teaching experience. V. Fedorov's parallelohedra. Vestnik of Geosciences. 2020. 7(307). С. 26—31. DOI: 10.19110/geov.2020.7.4.

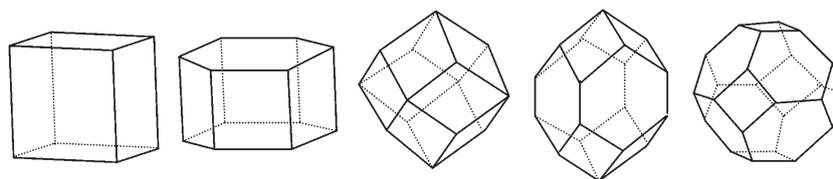


Рис. 1. Федоровские параллелоэдры

Fig. 1. Fedorov's parallelohedra

вильных невыпуклых многогранников, а Федоров нашел пять параллелоэдров» [1, с. 5].

Обратимся к самому Е. С. Федорову: «Выведенное тело, удлиненный гексапараллелоэдр (рис. 1, № 4) не отличается от предыдущего ни по числу и расположению граней, а следовательно, и ни по расположению колонн. Представив себе, что ребра пояса, состоящего из шестиугольных граней, сократятся до нуля, мы получим предыдущий параллелоэдр. Таким образом, мы можем смотреть на это тело как на несущественное видоизменение предыдущего» [5, с. 59].

Казалось бы, все ясно. Е. С. Федоров вывел пять параллелоэдров, что и отмечено [1]. Но один из них — удлиненный гексапараллелоэдр — сводится к ромбододекаэдру «сокращением до нуля» ребер пояса гексагонов. В работах [3, 6] процедура названа однородной деформацией. Это дает повод к продолжению обсуждения.

### Однородные деформации

Однородные деформации определяются в физике твердого тела через тензор напряжений. В нашем случае достаточно знать обязательное геометрическое свойство однородно деформируемого тела: прямые линии остаются прямыми. Приведение удлиненного гексапараллелоэдра к ромбододекаэдру состоит в «сокращении до нуля» тетрагональной призмы и соединении двух недеформированных «шапочек» (рис. 2). Отрезок с концами в них (за исключением случая, когда он лежит на оси  $L_4$ ) превратится в ломаную линию. Это доказывает, что рассмотренная трансформация (и обратная ей) не является однородной деформацией.

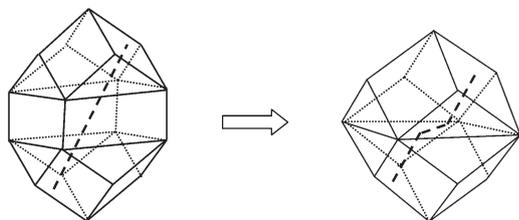


Рис. 2. Приведение удлиненного гексапараллелоэдра к ромбододекаэдру

Fig. 2. Bringing the elongated hexaparallelohedron to the rhombic dodecahedron

В алгоритме генерирования полного комбинаторного многообразия выпуклых полиэдров из тетраэдра Е. С. Федоровым предусмотрена операция редукции ребра [4, с. 280—281]. В общей систематике она связа-

ла выпуклые полиэдры в серии генетически родственных форм. Вероятно, и в систематике параллелоэдров редукция ребер пояса гексагонов побудила его по аналогии назвать ромбододекаэдр «видоизменением» удлиненного гексапараллелоэдра. Скорее всего, именно эта вербальная неосторожность позволила затем ряду авторов сводить число параллелоэдров к четырем. Заметим, что эти авторы предпочитают ромбододекаэдр, называя второй гексапараллелоэдр удлиненным (вытянутым) ромбододекаэдром.

### Дополнительные аргументы

Авторы статьи [3, с. 38] пишут: «Вот так Е. С. Федоров и получил все типы решеток Браве...». Речь идет о том, что, помещая в центры параллелоэдров точки, Федоров получил все сорта кристаллических решеток: для трипараллелоэдра — примитивную  $P$ , для тетрапараллелоэдра — базоцентрированную  $C$  (гексагон — основание ячейки), для одного гексапараллелоэдра (ромбододекаэдра) — гранецентрированную  $F$ , для гептапараллелоэдра — объемцентрированную  $I$ . А что для удлиненного гексапараллелоэдра? Растяжение гранецентрированной кубической ячейки вдоль  $L_4$  дает такую же тетрагональную, которой среди ячеек О. Браве ... нет. Выскажем неожиданную догадку. Не для того ли Е. С. Федоров столь легко свел удлиненный гексапараллелоэдр к додекаэдру, чтобы уравнивать числа параллелоэдров и порождаемых ими сортов ячеек Браве ( $P, C, F, I$ )?

Подчеркнем, что оба параллелоэдра независимо выведены Е. С. Федоровым при доказательстве теоремы. Колонны, построенные из них при заполнении пространства, сходны, но все же различны: из ромбододекаэдров — прямые вдоль всех шести  $L_2$ , из удлиненных ромбододекаэдров — прямые вдоль двух  $L_2$  и гофрированные вдоль еще четырех направлений. При описании структуры кристалла это существенно. Приведение удлиненного гексапараллелоэдра к ромбододекаэдру (и наоборот) не является однородной деформацией. Топологическая процедура редукции ребра выпуклого многогранника известна только в алгоритме Е. С. Федорова и не имеет отношения к деформации в смысле физики твердого тела.

### Заключение

Тема о параллелоэдрах представляется важной в университетском курсе кристаллографии. Е. С. Федоров перенес ее в главу 2 «О структуре кристаллов» учебника [5] из приложения в издании 1897 г. Ее нет в современном учебнике [2]. Но студенты увлеченно слушают историю о том, как Р. Ж. Гаюи уро-



нил скаленоэдр кальцита, как тот разбился на ромбоэдрические спайные выколки, как в этот миг родилась идея о «полиэдрических молекулах», заполняющих кристалл грань к грани, как потом возникли противоречия, приведшие его теорию в тупик [2, с. 235—236]. Общая теория строения кристаллов пошла другим путем — через решетки О. Браве к правильным системам точек и их суперпозициям.

А теория параллелоэдров интересна тем, что в измененном виде спасла и исчерпала идею Р. Ж. Гаюи. «Камень преткновения для этой теории, как известно, состоял в том факте, что имеется (например, у флюорита) спайность по октаэдру. Если бы Гаюи знал о существовании и свойствах особо притупленного октаэдра [гептапараллелоэдра], то ему не пришлось бы прибегать к натяжкам для объяснения этого факта, натяжкам, заставившим его последователей отрешиться от его первоначальной гипотезы и прибегать к помощи других» [Е. С. Федоров, цит. по: 6, с. 279]. В каком бы контексте и объеме не излагалась теория параллелоэдров, исходить надо из строгих определений и следовать им педантично. И тогда параллелоэдров — пять, а не четыре...

Кстати сказать, в связи с полуправильными многогранниками имела место аналогичная история. Полуправильным (архимедовым) называется выпуклый многогранник, ограниченный двумя или более типами правильных многоугольников; при этом для любых двух вершин есть преобразование симметрии многогранника, переводящее их друг в друга. В конце 1950-х россиянин В. Г. Ашкинуде, американец Дж. Миллер и югослав С. Билинский почти одновременно повернули на 45° шапочку ромбокубооктаэдра (уже известного полуправильного многогранника) и получили многогранник с равными многогранными углами, ныне известный как псевдоромбокубооктаэдр. Он не был известен со времен Архимеда! Но вскоре оказалось, что его можно отнести к полуправильным, только если исходить из менее строгого определения, потребовав, чтобы все многогранные углы бы-

ли равны, а все грани — правильные многоугольники. Таким образом, и здесь «дьявол скрывался в мелочах» математических определений.

## Литература

1. Делоне Б. Н. Е. С. Федоров как геометр // Тр. ИИЕТ АН СССР. 1956. Т. 10. С. 5—12.
2. Попов Г. М., Шафрановский И. И. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1964. 370 с.
3. Силаев В. И., Асхабов А. М., Хазов А. Ф., Юхтанов П. П. Янулов. К 100-летию воина и замечательного кристаллографа // Вестник геонаук. 2020. № 3. С. 33—43.
4. Федоров Е. С. Основания морфологии и систематики многогранников // Зап. Импер. С.-Петербург. минерал. об-ва. 1893. Ч. 30. С. 241—341.
5. Федоров Е. С. Курс кристаллографии. СПб.: Изд. К. Л. Риккера, 1901. 438 с.
6. Шафрановский И. И. История кристаллографии. XIX век. Л.: Наука, 1980. 324 с.

## References

1. Delauney B. N. E. S. *Fedorov kak geometr* (Fedorov as a geometer). Proc. Inst. Hist. Natur. Sci. & Tech. Acad. Sci. USSR, 1956, V. 10, pp. 5—12.
2. Popov G. M., Shafranovsky I. I. *Kristallografiya* (Crystallography). Moscow: Vysshaya shkola, 1964, 370 pp.
3. Silaev V. I., Askhabov A. M., Khazov A. F., Yukhtanov P. P. Yanulov. *K 100-letiyu voina i zamechatelnogo kristallografa* (To the 100<sup>th</sup> anniversary of the warrior and the wonderful crystallographer). Vestnik of Geosciences, 2020, No. 3, pp. 33—43.
4. Fedorov E. S. *Osnovaniya morfologii i sistematiki mnogogrannikov* (Foundations of morphology and systematic of polyhedral). Zap. Imp. SPb mineral. obshchestva (Proc. Imp. Saint-Petersburg Mineral. Soc.) 1893, Pt. 30, pp. 241—341.
5. Fedorov E. S. *Kurs kristallografiyi* (Crystallography course). Saint-Petersburg: Ed. K. L. Ricker, 1901, 438 pp.
6. Shafranovsky I. I. *Istoriya kristallografiyi. XIX vek* (History of crystallography. XIX century). Leningrad: Nauka, 1980, 324 pp.

Поступила в редакцию / Received 25.06.2020



## ИСТОРИЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СРЕДНЕМ ТИМАНЕ

И. Х. Шумилов, О. П. Тельнова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар  
*shumilov@geo.komisc.ru, telnova@geo.komisc.ru*

В статье приводится история стратиграфического расчленения девонского осадочного чехла на Среднем Тимане за последние 150 лет. В хронологическом порядке описываются основные вехи становления стратиграфической схемы района. Ретроспективный обзор направлен прежде всего на анализ эволюции взглядов стратиграфического расчленения девонских отложений, что, в свою очередь, является основой для выявления наиболее проблемных и актуальных аспектов геологии Среднего Тимана.

**Ключевые слова:** Средний Тиман, девон, история стратиграфии.

## HISTORY OF STRATIGRAPHY PARTITION OF DEVONIAN SEDIMENTS IN MIDDLE TIMAN

I. Kh. Shumilov, O. P. Tel'nova

Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article provides a history of stratigraphic partition of the Devonian sediments on Middle Timan over the past 150 years. The main milestones of the local stratigraphic scheme development are described in chronological order. A retrospective analysis is aimed, first of all, at analyzing the evolution of the views of the stratigraphic partition of the Devonian sediments, which, in turn, is the basis for identifying the most problematic and relevant aspects of the geology of Middle Timan.

**Keywords:** Middle Timan, Devonian, history of stratigraphy.

### Введение

Читая геологические отчеты производственных организаций, научные публикации, посвященные геологии Среднего Тимана, прошлого и позапрошлого веков, бывает очень трудно разобраться, о каких именно отложениях осадочного чехла повествуется в той или иной работе. Дело в том, что в процессе стратиграфического исследования и расчленения девонских отложений района выделялись новые стратоны, изменялись названия существующих, пересматривались их объемы, неоднократно переносились границы, иногда весьма существенно. Некоторые границы до сих пор остаются дискуссионными, например, граница между средним и верхним девонem [5]. Это связано, с одной стороны, с постепенной детализацией расчленения разрезов по мере накопления новых сведений на местном уровне с внесением соответствующих правок в региональную стратиграфическую схему (табл. 1), с другой стороны, с новыми успехами в области стратиграфии в мировом масштабе, при которых происходили определенные изменения и в Международной стратиграфической шкале [15, 16, 18].

В силу обозначенных обстоятельств мы предлагаем читателю небольшой экскурс в историю стратиграфического расчленения осадочного чехла Среднего Тимана на примере детально изученной нами Цилемской площади [4, 5, 14]. Ретроспективный анализ направлен прежде всего на визуализацию эволюции взглядов стратиграфического расчленения девонских отложений (табл. 1), что значительно облег-

чает восприятие геологической информации и наиболее проблемных и актуальных аспектов геологии Среднего Тимана.

### Эволюция взглядов на стратиграфическое расчленение девонских отложений Среднего Тимана (на примере Цилемской площади)

В 1843—1845 гг. граф А. А. Кейзерлинг первый ввел в науку общее представление о Тимане как об обособленной горно-складчатой области, кратко описал породы осадочного чехла по рр. Цильме и Воль и установил их девонский возраст\* (см. таблицу). Более полно и целенаправленно данные отложения были исследованы в 1875 г. А. А. Штукенбергом, подтвердившим время их образования [13].

В 1889—1890 гг. Ф. Н. Чернышевым впервые проведены геодезические и геологические исследования на всем протяжении Тиманского кряжа. Бассейн р. Цильмы сотрудниками этой экспедиции был исследован в 1890 г. Одним из результатов работ явилось разделение девонских отложений на Среднем Тимане на две части: верхнюю, представленную светло-серыми, синевато-серыми, фиолетово-бурыми глинами и мергелями с прослоями глинистых известняков и зеленовато-серых слюдястых песчаников, и нижнюю толщу серых и белых кварцевых песчаников, названных ими

\* *жирным курсивом* обозначены впервые выделенные стратиграфические подразделения

**Для цитирования:** Шумилов И. Х., Тельнова О. П. История стратиграфического расчленения девонских отложений на Среднем Тимане // Вестник геонаук. 2020. 7(307). С. XX—XX. DOI: 10.19110/geov.2020.7.5.

**For citation:** Shumilov I. Kh., Tel'nova O. P. History of stratigraphy partition of devonian sediments in Middle Timan. Vestnik of Geosciences. 2020. 7(307). С. XX—XX. DOI: 10.19110/geov.2020.7.5.

Важнейшие этапы стратиграфического расчленения девонской толщи на Среднем Тимане  
Important stages of stratigraphy partition of the Devonian sediments on Middle Timan

Система System		Толща Sequence		Малахов, 1940 Malakhov, 1940		Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941		Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948		Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973		УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988		Ярус Stage		
Девонская Devonian		Верхняя Upper	Ярус Stage	Толща Sequence	Ярус Stage	Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941	Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948	Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973	УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage
Девонская Devonian		Нижняя Lower	Ярус Stage	Толща Sequence	Ярус Stage	Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941	Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948	Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973	УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage
Девонская Devonian		Верхняя Upper	Ярус Stage	Толща Sequence	Ярус Stage	Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941	Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948	Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973	УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage
Девонская Devonian		Нижняя Lower	Ярус Stage	Толща Sequence	Ярус Stage	Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941	Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948	Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973	УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage
Девонская Devonian		Верхняя Upper	Ярус Stage	Толща Sequence	Ярус Stage	Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941	Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948	Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973	УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage
Девонская Devonian		Нижняя Lower	Ярус Stage	Толща Sequence	Ярус Stage	Тихонович, 1941 Tikhonovich 1941	Тихомиров, 1948 Tikhomirov, 1948	Цзю, Косовой, 1962, 1973 Tsyu, Kossovoy, 1962, 1973	УГРЭ, Цаплин, 1980—1984 Цаплин, Сорокин, 1988 UGRE, Tsaplin, 1980—1984 Tsaplin, Sorokin, 1988	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage	Горизонт Horizon	Свита Formation	Ярус Stage

Примечания: объёмы стратонав даны вне масштаба; в таблицу внесены только стратиграфические подразделения, впервые выделенные исследователями.  
Notes: straton volume are given outside the scale; table includes only stratigraphic subdivisions first identified by researchers.



жерновыми. Кроме того, Ф. Н. Чернышев указал переходный характер отложений Среднего Тимана между морскими на Южном Тимане и преимущественно континентальными отложениями Северного Тимана.

В 1932—1936 гг. А. А. Малаховым [3] проведена первая геологическая съемка на Среднем Тимане. В результате работ составлена схематическая геологическая карта масштаба 1 : 500 000 и предложена *первая схема* стратиграфического расчленения осадочных пород территории. Девонские отложения были подразделены на три горизонта: умбинский живетского яруса среднего девона, косминский и мыльский франского яруса верхнего девона. Согласно его описанию, умбинский горизонт представлен толщей кварцевых песчаников светло-желтого и белого цвета (жерновые) и вулканогенной толщей; отложения косминского горизонта сложены переслаивающимися пестроцветными глинами, алевролитами и песчаниками с многочисленными обугленными растительными остатками и ихтиофауной; мыльский горизонт описан как толща переслаивания серо-зеленоцветных глин, песчаников и известняков. Из-за отсутствия резкой литологической разницы границу между косминским и мыльским горизонтами А. А. Малахов проводил по массовому появлению в разрезе брахиоподовой фауны.

В 1939—1941, 1944 гг. Э. А. Кальберг\* производила геологическую съемку масштаба 1 : 200 000 (лист Q-39-XXXII+XXXIII). При расчленении девона ею была принята схема А. А. Малахова, но в верхней части косминского горизонта выделена валсовская свита, сопоставленная с псковско-чудовскими слоями Русской платформы. В работах последующих исследователей валсовская свита не упоминается, и лишь в схеме Цаплина и Сорокина [10] (см. ниже) *такое же название* дано совершенно другим отложениям!

Н. Н. Тихонович [7] пересек Средний Тиман, а затем на основе проведенных работ и материалов предыдущих исследователей предложил стратиграфическое расчленение всех отложений, слагающих Тиманский кряж. Толщу жерновых (кварцевых) песчаников, лежащую в основании девонского разреза на Северном и Среднем Тимане, он посчитал верхнеживетской, к этой же толще он отнес туфогенные отложения с покровами и дайками базальтов. Франский ярус верхнего девона разделен им на горизонты: *a*, *b*, *c*. В горизонте  $D_3^1a$  он объединил верхнюю часть косминского горизонта и основание мыльского горизонта до первых прослоев с обильными остатками *Rhynchonella cuboides* Sow. Этот горизонт сопоставлен с верхами нефтеносной толщи Ухты. Вышележащие цветные песчаники были отнесены им к горизонту  $D_3^1b$  и синхронизировались с доманиковыми и ветлосянскими слоями Южного Тимана. В горизонте  $D_3^1c$  включены мергели и глины с обильной фауной сирачойского типа и залегающие выше песчано-глинистые отложения.

В 1945 г. С. В. Тихомиров начал исследования в бассейне р. Печорская Пижма, где по заданию Северной экспедиции СОПСа АН СССР он изучал девонские отложения Среднего Тимана с целью со-

поставления их с девонем Главного девонского поля и Ухтинского района. В результате девонские отложения были расчленены на слои, выделены дробные местные стратиграфические подразделения, составлена первая палеогеографическая карта Среднего Тимана масштаба 1 : 300 000 для пижемского времени [6]. К живетскому ярусу среднего девона отнесены пижемские слои светлых кварцевых песчаников, к франскому ярусу верхнего девона — яранские, туффоидные, пестроцветные, средненские, денисовские, синешельские, нижневерховские, верхневерховские, березовские, каменоручейские слои.

В дальнейшем все специализированные стратиграфические исследования были посвящены в основном изучению девонских отложений Южного Тимана, поскольку там были широко развернуты поиски месторождений нефти и газа. На Среднем Тимане подобные работы в небольших объемах проводились лишь для отложений с фаунистическими остатками, т. е. выше современного уровня подошвы саргаевского горизонта.

В 1962 г. З. И. Цзю [12] провел сопоставление разрезов девона Тимана и Притиманья и предложил схему корреляции их с разрезами Центрального девонского поля. Подошвой верхнего девона на Среднем Тимане З. И. Цзю считал кровлю яранских слоев.

Позже З. И. Цзю и Л. С. Коссовым [11] средний отдел девонской системы (живетский ярус) на Среднем Тимане был разделен на *афонинский* (нижняя часть пижемских слоев по С. В. Тихомирову) и *старооскольский* горизонты (верхняя часть пижемских слоев по С. В. Тихомирову).

Верхний отдел представлен франским ярусом. К пашийскому горизонту на Среднем Тимане были отнесены низы косминской свиты схемы А. А. Малахова, или туффоидный слой схемы С. В. Тихомирова. Горизонт представлен песчано-алевритовой и туффито-диабазовой толщами. Приведены списки раковин брахиопод, филлопод, остатков рыб. Кыновский горизонт на Среднем Тимане ими выделен в объеме верхней части косминской свиты схемы А. А. Малахова, соответствующей пестроцветному слою схемы С. В. Тихомирова. Он сложен серо-зелеными и коричневыми глинами, заключающими раковины брахиопод и остракод и остатки растений.

Саргаевский горизонт на Среднем Тимане был выделен З. И. Цзю в 1962 г. [12] в объеме нижней части мыльского горизонта схемы А. А. Малахова, соответствующей средненским, денисовским и синешельским слоям С. В. Тихомирова. Представлен алевролитами, серо-зелеными глинами и известняками с раковинами брахиопод. Саргаевский горизонт как самостоятельное стратиграфическое подразделение определялся В. П. Пономаревым, проводившим в этот же период производственные работы.

Семилуцкий горизонт [11] на Среднем Тимане соответствует нижневерховским слоям схемы С. В. Тихомирова. Он сложен в нижней части известняками с прослоями черного битуминозного сланца доманикового типа, в средней и верхней частях — зелено-серыми глинами и серыми мергелями, переходящими в комковатые известняки [11].

Почти в то же время (1975—1977 гг.) в связи с открытием в южной части Среднего Тимана месторож-

\* Кальберг Э. А. Геологическое описание планшетов Q-39-XXVII и XXVIII масштаба 1 : 200000 (Средний Тиман). Архангельск, 1945.



дений бокситов Ухтинской геолого-разведочной экспедицией проводились детальные поисковые работы, в результате которых среднедевонские отложения в северо-западной части Среднего Тимана были подразделены на *заостровскую* и *нижемскую свиты*, нижнефранские отложения пашийского и кыновского горизонтов — на *яранскую, лиственничную, цилемскую и устьчиркинскую свиты* [8, 9]. При этом лиственничная свита была впервые выделена в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения как верхняя часть яранских слоев схемы С. В. Тихомирова. Поскольку конец лиственничного этапа осадконакопления был отмечен мощным проявлением основной фазы вулканизма, осадки, ему соответствующие, в силу их важного реперного значения выделены вне порядка (масштаба) в самостоятельную валсовскую свиту.

Позже, в 1988 г., А. Е. Цаплиным и В. С. Сорокиным [10] в составе среднего девона были выделены *эйфельский* и живетский ярусы. Франский ярус подразделяется на яранскую, лиственничную, валсовскую, цилемскую, устьчиркинскую, *устьярегскую, крайпольскую и березовскую свиты*.

А. О. Иванов и А. В. Кузьмин [2, 17] добавили к характеристике стратиграфических подразделений результаты изучения ихтиофауны и конодонтов из типовых разрезов нижнего и среднего франа Среднего Тимана (бассейн р. Печорской Пижмы).

В заключение данного исторического экскурса вслед за А. Е. Цаплиным и В. С. Сорокиным [10] отметим, что из-за разного подхода к стратификации девонских отложений палеогеографические построения, выполненные разными группами исследователей, не могут быть сопоставлены при любой степени их детальности, т. к. практически во всех построениях присутствуют разномасштабные по своему объему стратиграфические интервалы.

## Выводы

Начиная с конца XIX в. на территории Цилемской площади проведено немало тематических, геолого-поисковых и геолого-разведочных работ, в результате которых уточнялась стратиграфическая схема района. Единого мнения относительно возраста отдельных свит и положения границы между средним и верхним девонем до сих пор нет.

Этим обусловлена актуальность новой серии геологических работ (прежде всего биостратиграфических исследований, проведенных ИГ Коми НЦ УрО РАН) [4, 5, 13, 14], продолжение которых в настоящее время поддержано конкурсной программой *РФФИ (грант 20-05-00445А)*, а также новый интерес к этой территории такого крупного геологического учреждения, как ВСЕГЕИ.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 20-05-00445А.*

## Литература

1. Зональная стратиграфия фанерозоя России / Науч. ред. Т. Н. Корень. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 256 с.
2. Иванов А. О., Кузьмин А. В. Комплексы ихтиофауны и конодонтов из мелководных франских отложений Среднего Тимана // Геология девона северо-востока европейской части СССР: Тез. докл. Всесоюз. совещ. (2—4 апреля 1991 г.). Сыктывкар, 1991. С. 24—25.
3. Малахов А. А. Геология Среднего Тимана и Западного Притиманья. Л.; Архангельск; М.: Гостоптехиздат, 1940. 114 с.
4. Тельнова О. П., Шумилов И. Х. Саргаевский горизонт верхнего девона в бассейне р. Цильма, Средний Тиман // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2017. Т. 25. № 2. С. 49—71.
5. Тельнова О. П., Шумилов И. Х. Палинологическая и литологическая характеристики девонских терригенных отложений в бассейне р. Цильма (Средний Тиман) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2019. Т. 27. № 1. С. 31—56.
6. Тихомиров С. В. Девон Среднего Тимана // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1948. № 2. С. 47—56.
7. Тихонович Н. Н. Структурные черты Тимано-Уральской нефтеносной провинции // Советская геология. 1941. Вып. I. С. 43—60.
8. Цаплин А. Е. Основные черты строения среднедевонских отложений в северо-западной части Среднего Тимана // Изв. вузов. Геология и разведка. 1982. № 12. С. 48—56.
9. Цаплин А. Е. Основные черты строения яранской и лиственничной свит нижнего франа в северо-западной части Среднего Тимана // Изв. вузов. Геология и разведка. 1984. № 6. С. 15—20.
10. Цаплин А. Е., Сорокин В. С. Франский ярус Среднего Тимана (методические рекомендации по проведению крупномасштабных геолого-съемочных работ на Среднем Тимане). Ухта, 1988. 54 с.
11. Цзю З. И., Коссовой Л. С. Тимано-Печорская область // Стратиграфия СССР. Девонская система / Под ред. Д. В. Наливкина, М. А. Ржосницкой, Б. П. Марковского. Кн. 1. М.: Недра, 1973. С. 145—166.
12. Цзю З. И. Типы девонских отложений Тимано-Печорской нефтеносной области и унификация их стратиграфических схем // Стратиграфические схемы палеозойских отложений. Девонская система: Тр. совещ. (М., февраль, 1962). М., 1962. Т. 2. С. 98—114.
13. Шумилов И. Х. История открытия первого медного месторождения в России // Горный журн. 2008. № 12. С. 88—90.
14. Шумилов И. Х., Тельнова О. П. Осадконакопление в зоне денудации на границе среднего и верхнего девона на Среднем Тимане // Известия Коми НЦ. 2017. № 3. С. 71—79.
15. Aboussalam Z. S., Becker R. T. New upper Givetian to basal Frasnian conodont faunas from the Tafilalt (Anti-Atlas, Southern Morocco). Geological Quarterly, 2007. No. 51. P. 345—374.
16. Becker R. T., Kunigshof P., Brett C. E. Devonian climate, sea level and evolutionary events—an introduction. In: Becker, R. T., Kunigshof, P., Brett, C. E. (Eds.) Devonian climate, sea-level and evolutionary events. Geological Society. London, 2016. Special Publication 423. P. 1—10.
17. Esin D., Ginter M., Ivanov A., Lebedev O., Luksevics E., Avkhimovich V., Golubtsov V., Petukhova L. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform. Courier Forschungs-Institut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project), 2000. No. 223. P. 341—359.
18. Sandberg C. A., Ziegler W., Bultynck P. New Standard Conodont Zones and Early *Ancyrodella* Phylogeny across Middle-Upper Devonian Boundary // Cour. Forsh.-Inst. Senckenberg. 1989. No. 110. P. 195—230.



19. Ziegler W., Klapper G. Stages of the Devonian system // Episodes, 1985. V. 8. No. 2. P. 104–109.

## References

1. *Zonal'naya stratigrafiya fanerozoja Rossii* (Zonal stratigraphy of Russian Phanerozoic). Ed. by Koren' T. N. St. Petersburg: Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., 2006, 256 p.
2. Ivanov A. O. and Kuzmin A. V. *Kompleksy ihtiofauny i konodontov iz melkovodnyh franskiy otlozhenij Srednego Timana* (Complexes of ichthyofauna and conodonts from Frasnian shallow-water deposits of Middle Timan) in *Tez. Dokl. Vsesoyuz. Soveshch. "Geologiya devona Severo-Vostoka evropeiskoi chasti SSSR", Syktyvkar, 2–4 aprelya 1991 g.* (Proc. All-Union Conf. "Geology of the Devonian in the North-East of the European Part of the USSR"), Syktyvkar, 1991, pp. 24–25.
3. Malakhov A. A., *Geologiya Srednego Timana i Zapadnogo Pritimanya* (Geology of Middle Timan and Western Cis-Timan). Moscow: Gostoptekhizdat, 1940, 114 p.
4. Tel'nova O. P. and Shumilov I. Kh. The Upper Devonian Sargaev Regional Stage in the Tsil'ma River Basin, Middle Timan. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2017. V. 25. No. 2. pp. 167–187.
5. Tel'nova O. P. and Shumilov I. Kh. Middle–Upper Devonian Terrigenous Rocks of the Tsil'ma River Basin and Their Palynological Characteristics. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2019. V. 27. No. 1. pp. 27–50.
6. Tikhomirov S. V. *Devon Srednego Timana* (Devonian of the Middle Timan). *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.*, 1948, No. 2, pp. 47–56.
7. Tikhonovich N. N. *Strukturnye cherty Timano-Ural'skoj neftenosnoj provincii* (Structural fiches of Timan-Ural oil province). *Sovetskaj geologij*, 1941, I, pp. 43–60.
8. Tsaplin A. E. *Osnovnye cherty stroeniya srednedevonskih otlozhenij v severo-zapadnoj chasti Srednego Timana* (Main structural features of Middle Devonian deposits in the northwestern part of the Middle Timan), *Izv. Vuzov. Geol. Razv.*, 1982, No. 12, pp. 48–56.
9. Tsaplin A. E. *Osnovnye cherty stroeniya jranskoj i listvennichnoj svit nizhnego frana v severo-zapadnoj chasti Srednego Timana* (Main structural features of the Lower Frasnian Yaran and Listvenichnaya formations in the northwestern part of the Middle Timan). *Izv. Vuzov. Geol. Razv.*, 1984, No. 6, pp. 15–20.
10. Tsaplin A. E. and Sorokin V. S. *Franskiy yaros Srednego Timana* (Frasnian Stage of Middle Timan). Ukhta, 1988, 54 p.
11. Tszyu Z. I. and Kossovoi L. S. *Timano-Pechorskaya oblast'* (Timan–Pechora region), in *Stratigrafiya SSSR. Devonskaya sistema* (Stratigraphy of the USSR. Devonian System), Nalivkin, D. V., Rzhosnitskaya, M. A., and Markovskii, B. P., Eds., Moscow: Nedra, 1973, Book 1, pp. 145–166.
12. Tszyu Z. I. *Tipy devonskih otlozhenij Timano-Pechorskoj neftenosnoj oblasti i unifikaciya ih stratigraficheskikh skhem* (Types of Devonian deposits of Timano-Pechora oil region and unification of their stratigraphic schemes). *Stratigraficheskie skhemy paleozojskih otlozhenij. Devonskaya Sistema* (Trudy sovesch., Moscow, Febr., 1962). Moscow, 1962, V. 2, pp. 98–114.
13. Shumilov I. Kh. *Istoriya otkrytiya pervogo mednogo mestorozhdeniya v Rossii* (History of the first copper deposits opening in Russia). *Gornyy zhurn.*, 2008, No. 12, pp. 88–90.
14. Shumilov I. Kh. and Tel'nova O. P. *Osadkonakoplenie v zone denudacii na granice srednego i verhnego devona na Srednem Timane* (Sedimentation in the denudation zone on the boundary of the Middle and Upper Devonian on Middle Timan). *Izvestiya Komi NC*, 2017, No. 3, pp. 71–79.
15. Aboussalam Z. S., Becker R. T. New upper Givetian to basal Frasnian conodont faunas from the Tafilt (Anti-Atlas, Southern Morocco). *Geological Quarterly*, 2007, No. 51, pp. 345–374.
16. Becker R. T., Kunigshof P., Brett C. E. Devonian climate, sea level and evolutionary events—an introduction. In: Becker, R. T., Kunigshof, P., Brett, C. E. (Eds.) *Devonian climate, sea-level and evolutionary events*. Geological Society, London, 2016, Special Publication 423, pp. 1–10.
17. Esin D., Ginter M., Ivanov A., Lebedev O., Luksevics E., Avkhimovich V., Golubtsov V., Petukhova L. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg* (Final Report of IGCP 328 project), 2000, No. 223, pp. 341–359.
18. Sandberg C. A., Ziegler W., Bultynck P. New Standard Conodont Zones and Early *Ancyrodella* Phylogeny across Middle–Upper Devonian Boundary. *Cour. Forsh.-Inst. Senckenberg*, 1989, No. 110, pp. 195–230.
19. Ziegler W., Klapper G. Stages of the Devonian system. *Episodes*, 1985, V. 8, No. 2, pp. 104–109.

Поступила в редакцию / Received 28.05.2020



## ГЕОЛОГИЯ РИФОВ – 2020 / REEF GEOLOGY – 2020

Итоги

### Summary

June 25–26, 2020, Syktyvkar, the Institute of Geology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences held the all-Russian Lithological Meeting «Reef Geology». The meeting was dedicated to the 130<sup>th</sup> Anniversary of the birth of Vera Alexandrovna Varsanofyeva (1890–1976), the first woman to receive the Doctor's degree in geological and mineralogical sciences (1935), Corresponding Member of the Academy of Pedagogical Sciences of the USSR (1945), Honored Scientist of the RSFSR (1950). This year, the meeting was held in the format of a video conference with simultaneous broadcasting of online sessions via the video channel «Institute of geology» on YouTube.

Всероссийское литологическое совещание «Геология рифов» (25–26.06.2020, Сыктывкар, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) проходило под эгидой Министерства науки и высшего образования РФ, Научного совета по проблемам литологии и осадочным полезным ископаемым при Отделении наук о Земле РАН.

Всероссийские литологические совещания в Институте геологии имени академика Н. П. Юшкина проводятся раз в пять лет, начиная с 90-х годов прошлого века. На них всегда обсуждалась рифовая тематика, которая с 2005 г. закрепились в названии совещания. В настоящий момент это совещание является основным средством общения широкого круга специалистов, занимающихся геологией ископаемых рифов. Тематика совещания важна по многим аспектам: органогенные сооружения — это чуткий индикатор палеогеографических условий, их распространение является важным элементом в палеотектонических реконструкциях; рифогенные отложения являются коллекторами углеводородов; слагающие их породы служат сырьем особо чистых известняков для некоторых видов производства; рифогенные отложения интересны и в связи с другими полезными ископаемыми.

В этом году в связи с проведением мер по нераспространению новой инфекции COVID-19 совещание проводилось в формате видеоконференции с одновременной трансляцией онлайн-заседаний через видеоканал Института геологии на портале Youtube. Выражаем глубокую благодарность за эту возможность С. В. Рудницкому, старшему инженеру группы автоматизации научных исследований Института геологии.

Это был наш первый опыт в проведении такого рода конференций, и, судя по отзывам участников, зрителей и слушателей, он не был провальным. Конечно, не хватало прямого общения и обмена мнениями, как на предыдущих совещаниях. Однако благодаря откликам, предложениям и пожеланиям, по-

ступавшим непосредственно в момент трансляции докладов и после совещания, мы смогли организовать встречу геологов из производственных и научно-исследовательских организаций на должном уровне.

В программу совещания кроме традиционных вопросов, таких как диагностика органогенных сооружений, биологическое разнообразие и эволюция рифовых экосистем и комплексный анализ областей рифообразования, была включена тематика исследований, связанная с ролью микробиоты и газофлюидных высачиваний в формировании своеобразных карбонатных построек в разных обстановках седиментации. Актуальность выбранных тематик совещания обусловила интерес специалистов в разных областях геологии. Материалы к докладом совещания представили 112 человек из 33 научных, научно-производственных, производственных организаций и высших учебных заведений России и ближнего зарубежья. География участников довольно широка: Астрахань, Владивосток, Волгоград, Геленджик, Екатеринбург, Иркутск, Казань, Краснодар, Красноярск, Ленск, Москва, Новосибирск, Пермь, пос. Борок, Санкт-Петербург, Сыктывкар, Тюмень, Уфа, Ухта. Трое участников были из г. Ташкента (Узбекистан). Количество слушателей, благодаря формату видеоконференции и трансляции онлайн-заседаний на видеопортале Института геологии, было более 400 человек. Нужно отметить, что в работе совещания кроме опытных ученых принимали участие большое количество молодых исследователей.

На пленарном и секционных заседаниях было заслушано и обсуждено 13 онлайн-докладов. Разнообразие тематики отражает проблемы карбонатной литологии, биоседиментологии и связанные с ними практические выводы и результаты, интересующие не только специалистов по нефтяной геологии, но и исследователей современных океанических областей и процессов аутигенного карбонатообразования. Возрастной диапазон представленных в материалах совещания ископаемых рифов, органогенных построек и микробиолитов был от рифейских до современных образований, а территориально они охватывали районы от Приморья до европейской части России, от Северной Атлантики до о. Огненная Земля.

Доклады, представленные на тематических секциях, продемонстрировали широкое использование электронно-микроскопических, палеоэкологических, геохимических, в том числе изотопных методов и новейших методик сейсморазведки. Следует отметить положительное влияние решений предыдущих совещаний. Так, продолжают развиваться и территориально расширяться новые направления исследований по биогенным карбонатам. Постепенно нивелируется односторонность в интерпретации как литологических, так и геолого-геофизических данных, которая может при-



Открытие Всероссийского совещания «Геология рифов» на сайте видеоконференций ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.  
Вступительное слово директора института И. Н. Бурцева

Opening of the All-Russian meeting «Geef Geology» on the videoconference site of the Institute of geology FRC Komi SC UB RAS.  
Introductory speech by the Director of the Institute I. N. Burtsev

вести к некорректным выводам и рекомендациям при поисках природных резервуаров углеводородного сырья и, соответственно, к необоснованным экономическим затратам при их разработке. На совещании были представлены онлайн-доклады и е-постеры, в которых геолого-геофизические данные насыщались подробными литологическими исследованиями. Все это можно увидеть в протоколе заседаний, опубликованном сборнике материалов совещания.

В стендовой секции, которая проходила на страницах официального сайта литологического совещания «Геология рифов» (<http://conf.uran.ru/Default?cid=reefs>), был представлен 31 е-постер. 8 докладов были посвящены нефтяной тематике, 11 — строению, литологии и условиям образования различных органогенных построек, 9 — пороодообразующим организмам, 2 — минеральному составу карбонатов в микробиолитах, 1 — гидрологическим условиям в структурах облекания рифовых построек.

В сравнении с аналогичными показателями прошлых конференций видно, что в этом году в стендовой секции преобладают доклады литологической и палеонтологической тематики. Важно что в нефтяных докладах только у половины основой являются исключительно геофизические данные, а в остальных геофизика существенно подкреплена результатами литологического анализа. Это, несомненно, положительная тенденция, которая уже отмечалась во время дискуссии после представления онлайн-докладов.

Среди докладов палеонтологической тематики выделяется е-постер Л. А. Шмелёвой, в котором представлен анализ пространственно-временной и палеоэкологической структур палеоценозов и трофической структуры верхнеордовикского рифа Большая Косью на Северном Урале. В нем показано, что обнаруженные здесь сфинктозойные губки могли поселиться в сублиторальных обстановках и находились в тесной связи с цианобактериями, которые снабжали их питательными веществами и играли ведущую роль в функционировании системы пищевых цепей. Данный результат важен в понимании древних палеоценозов ри-

фовых сообществ, так как до этого о существовании трофической петли между зооксантеллами и кораллами было известно только с мезозоя. Теперь становится ясно, что аналогичная трофическая петля существовала и ранее. Работа Л. А. Шмелёвой является первой ласточкой в этой тематике.

Новым в тематике нашего совещания являются доклады минералогической направленности. В докладе Л. В. Леоновой, А. И. Антошкиной, Ю. С. Симановой были рассмотрены специфичные минералы в мшанковых биогермах и полихетовых известняках Казантипского заповедника в Крыму. Интересный е-постер представили Л. В. Зайцева, О. С. Самылина, А. А. Прокин, в нём приводится детальный механизм осаждения моногидрокарбоната в современных осадках озера Лос-Сиснес на Огненной земле в Чили.

К сожалению, вновь не были представлены материалы о современном рифообразовании, что в целом продолжает негативно характеризовать состояние данного вопроса в нашей стране. Эти исследования важны как для палеотектонических реконструкций, так и для рассмотрения фундаментальной проблемы эволюции рифовых экосистем на протяжении геологической истории. Приятно, что уже в значительной мере прослеживается привязка результатов к существующим, часто весьма общим моделям.

В программу совещания была включена молодежная школа, на которой были заслушаны интереснейшие онлайн-лекции И. Г. Добрецовоной «Подводные вулканы и жизнь» и В. И. Силаева «Изотопия углерода и кислорода в карбонатах: генетическая информативность в геологии и геоархеологии». Эти лекции вызвали широкий резонанс и, несомненно, расширили кругозор в области изучения современных геологических объектов, а их интерпретации были полезны не только молодым исследователям.

Первоначально кроме онлайн-заседаний и молодежной школы в программе совещания были запланированы практический семинар «Разнообразие генетических типов пород органогенных сооружений» и полевой семинар «Палеозойские органогенные со-



оружения бассейна р. Илыч, Северный Урал». Однако связи со сложной эпидемиологической ситуацией было решено первый провести в апреле-мае 2021 г., а второй — в июне-июле 2021 г.

На заключительном заседании совещания было высказано много отзывов и предложений. В частности, решено расширить исследования по эволюции рифовых экосистем и их взаимосвязи с эволюцией геобиосферы и влияния на них палеогеографической приуроченности, климатических и гидродинамических факторов, геохимических условий. Кроме того, обратить внимание на выделение литологических маркеров, которые могут послужить индикаторами различных процессов, протекавших в ходе карбонатного осадконакопления или на этапе эпигенеза, например палеокарстования и др. Усилить применение тонких методов изучения минералогии, вещественного состава, изотопной геохимии, позволяющих на более высоком уровне подходить к восстановлению условий существования и развития рифовых экосистем прошлого. Выступающие обращали внимание на то, что следует хорошо знать и правильно использовать как основополагающие термины и понятия, так

и современную литологическую терминологию. Часто звучало мнение, что пять лет между совещаниями такого рода — слишком долгий срок. В связи с чем постановили очередное совещание «Геология рифов» провести в 2025 году, а до этого по мере необходимости собираться и проводить тематические семинары по важным проблемам литологических исследований современных направлений.

Онлайн-участники совещания выразили искреннюю благодарность оргкомитету и руководству Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Оргкомитет со своей стороны благодарит всех участников совещания, выступивших с онлайн-докладами, приславших е-постеры, смотревших онлайн-трансляцию и активно участвовавших в дискуссиях.

Более подробную информацию можно найти на сайте совещания (<http://conf.uran.ru/Default?cid=reefs>), посмотреть запись онлайн-трансляции можно на портале Youtube: видеоканал «Институт Геологии» (<https://www.youtube.com/channel/UCRF5FqE1KnY2m0MB7N0Rorg>).

*К. г.-м. н. А. Сандула,  
ученый секретарь совещания*

## ■ Варсановьева: 130 лет со дня рождения ■

### Varsanofyeva: 130<sup>th</sup> birth anniversary

Varsanofyeva Vera Alexandrovna (1890—1976), Soviet geologist. She was the first woman to receive the Doctor's degree in geological and mineralogical sciences (1935). She was A. P. Pavlov's student. Corresponding Member of the USSR Academy of Pedagogical Sciences (1945). Professor of the 2nd Moscow University (1925—1929), since 1930 — the Moscow Pedagogical Institute named after V. I. Lenin; Vice-President of the Moscow Society of Nature Experts (1942). Varsanovyeva studied the stratigraphy of the Paleozoic deposits of the Upper Pechora basin, the geomorphology of the Northern Urals, and carried out the first analysis of the development of its relief. She is also known for her works on the history of geological science and the history of teaching geological disciplines in Russia, and for popularization of geological knowledge. For all her geological works she was awarded the A. P. Karpinsky Gold Medal of the USSR Academy of Sciences (1950). She was awarded the Order of Lenin and other orders and medals.



*Вера Александровна Варсановьева является яркой представительницей плеяды русских женщин-учёных, которыми по праву гордится советская наука.*

*В. В. Меннер, академик АН СССР*

25—26 июня 2020 г. в Институте геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН прошло очередное Всероссийское литологическое совещание «Геология рифов», посвященное памяти В. А. Варсановьевой.

В этом году мы отмечаем 130-летие со дня рождения Веры Александровны Варсановьевой (10(22).07.1890—29.06.1976). Она была, несомненно, одной из ярчайших фигур в естественных науках в первой половине двадцатого века. Первостепенный геолог и геоморфолог, до последних лет жизни не покидавшая геологическое исследовательское поле, она оставила фундаментальные труды, была талантливым

популяризатором жизни и деятельности своих предшественников и современников, ее увлекательными книгами до сих пор зачитываются все, кто хочет познать природу, блестящим педагогом, воспитавшим боготворивших ее учеников, активным общественным деятелем и просто замечательным человеком.

Вся долгая и насыщенная событиями жизнь Веры Александровны была подчинена одной цели — служению геологии. Твердое решение стать геологом у нее появилось в 14 лет после чтения научно-популярной монографии А. П. Павлова «Вулканы на Земле и вулканические явления во Вселенной», когда она училась во втором классе рязанской гимназии. И каждый



Группа А. А. Чернова (в первом ряду второй справа) на Московских высших женских курсах. В. А. Варсанюфьева (в первом ряду четвертая справа)

Chernov's group (the first row, the second from the right) at the Moscow Higher Courses for Women. V. A. Varsanofyeva (the fourth from the right in the first row)

ее последующий шаг способствовал исполнению этого желания.

Многим она обязана своим родителям. Мать, Юлия Львовна, очень любила дочь и большое внимание уделяла ее воспитанию. Она сама обучала ее иностранным языкам и развивала интерес к естествознанию. Всю жизнь В. А. Варсанюфьева хранила любовь, благодарность и уважение к первой наставнице и свою первую научно-популярную книгу «Происхождение и строение Земли» (1945) посвятила памяти Юлии Львовны Варсанюфьевой. От отца, Александра Степановича, (военнослужащего, артиллериста) унаследовала глубокую любовь к природе бескрайних лесов его родины (Весьегонского уезда Тверской губернии), физическую выносливость и выдержку, которые ей так помогли в жизни полевого геолога.

Путь в геологию Вере Александровне открыли Московские высшие женские курсы, естественное отделение которых она окончила в 1914 г. Здесь ее учителем и наставником стал профессор А. А. Чернов, горячий сторонник и проповедник высшего женского образования в России. Ему удалось вложить в своих учениц не только обстоятельные геологические знания и мастерское владение естественно-научной методологией, но и достойную восхищения преданность геологии, какое-то потрясающе самозабвенное, подчас жертвенное увлечение наукой, которое нередко вытесняло из жизни и многое личное. Все черновские курсистки стали не только профессиональными геологами, но и крупными учеными, обогатившими геологическую науку фундаментальными открытиями. Это Д. М. Раузер-Черноусова, М. И. Шульга-Нестеренко, Н. А. Емельянова, Е. Д. Сошкина, Т. А. Добролюбова, Т. М. Новикова, А. И. Погорская, Е. Батюшкова и др. Однако В. А. Варсанюфьева была среди них, несомненно, самой заметной фигурой.

На протяжении практически всей своей трудовой деятельности Вера Александровна изучала стратиграфию и геологическое строение палеозойских и четвертичных отложений Тимана, бассейна верхней Печоры и геоморфологию Северного Урала. Она так-



В. А. Варсанюфьева (сидит) в 3-й Тиманской экспедиции на средства П. П. Рябушинского

During the 3<sup>rd</sup> Timan expedition funded by P. P. Ryabushinsky. V. A. Varsanofyeva (sitting)

же известна работами по истории геологической науки и истории преподавания геологических дисциплин в России, популяризации геологических знаний. За выдающиеся результаты в области изучения Северного Урала В. А. Варсанюфьева была удостоена одной из высших академических наград — золотой медали им. А. П. Карпинского АН СССР. Награждена орденами Трудового Красного Знамени, Ленина, «Знак Почета», медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945», «За оборону Москвы» и другими наградами. В ее честь названы многие виды палеонтологических остатков, ледники на Полярном Урале и одна из горных вершин на Приполярном Урале.

Одновременно с научной деятельностью на протяжении всей жизни В. А. Варсанюфьева, не жалея своего времени, занималась преподаванием. После окончания естественного отделения Высших женских курсов она работала там же на кафедре геологии. Позднее преподавала в педагогических институтах Твери, Иваново-Вознесенска и во 2-м МГУ (с 1930 г. — МГПИ им. В. И. Ленина). При этом ее просветительская деятельность не ограничивалась рамками учебных заведений. Она разрабатывала курсы, писала научно-популярные книги и пропагандировала научные знания.

С 1954 по 1970 г. В. А. Варсанюфьева работала сначала в Отделе, а затем в Институте геологии Коми филиала АН СССР. Здесь она много времени уделяла педагогической деятельности, руководила работами аспирантов и консультировала молодых научных сотрудников (Б. И. Гуслицера, Н. Н. Кузькокову, Н. В. Калашникова А. И. Елисеева и др.), которые впоследствии выросли в крупных специалистов в области стратиграфии, литологии и тектоники. Кроме того, Вера Александровна проводила научные исследования по геологии Коми АССР и распределению на ее территории полезных ископаемых.

В работах В. А. Варсанюфьевой обычно рассматривался широкий круг вопросов: от геоморфологии, стратиграфии, литологии, тектоники до исто-



рии геологического развития. Особенно это относится к раннему времени ее работы, когда геологическая изученность России была весьма далека от совершенства. Например, территория западного склона Урала, начиная с бассейна верхней Печоры и севернее, на геологических картах представляла собой белое пятно. И, естественно, для решения поставленной перед ней задачи — составления 124-го листа Общей геологической карты — ей приходилось решать весь комплекс вопросов. И только на закате карьеры в трудах Веры Александровны выделяются более узкоспециализированные статьи, например, цикл работ, посвященный стратиграфии каменноугольных отложений верхней Печоры. Однако, несмотря на широкий круг затронутых вопросов, сделанные ею выводы поражают своей стройностью, гармоничностью и точностью предположений. В то же время в работах В. А. Варсановьевой кроме досконально разобранных фактического материала и выводов имеются прямые или косвенные обозначения наиболее важных направлений дальнейших исследований.

По геологии рифов у В. А. Варсановьевой нет специальных работ, но в её трудах можно найти первые указания на наличие рифовых отложений в палеозойских толщах Северного Урала. Например, по воспоминаниям В. Ф. Барской и Г. А. Чернова [1], еще в 1914 г. Вера Александровна впервые высказала предположение о рифовой природе конусовидных гор в окрестностях Красноуфимска и массивных скал по берегам Сылвы и ее притоков. В 1934 г. она отнесла к отложениям рифового характера толщи верхнего карбона, сложенные массивными светлыми известняками с *Uralotimania* [2]. В работе 1940 г. по геологии Печоро-Ильчского заповедника [3] к рифогенным отнесены верхнесилурийские отложения в устье р. Б. Косью в бассейне р. Илыч (нижний силур в современной номенклатуре) по правому берегу реки Илыч, выше Закола-ёля, и в отвесной скале Кобла-кырта (Кобылья скала), а также до массивных доло-

митов Хрусталь-кырты на р. Кожимью, нижнедевонских доломитов на м. Печоре.

В то же время В. А. Варсановьева, по всей видимости, предполагала, что рифы и связанные с ними отложения играли в палеозойском осадконакоплении гораздо более важную роль. Так, в начале сороковых годов В. А. Варсановьева проводила исследования на Северном Урале в верховьях р. Печоры. Вместе с ней в этой экспедиции принимала участие ее аспирантка А. И. Равикович. Вероятно, еще в то время Вера Александровна привила интерес своей ученице к ископаемым рифам. Это становится ясно из цикла работ А. И. Равикович 1940—1960 гг. [4]. Это были обзорные работы о современных и ископаемых рифах и крупная монография [5], посвященная характеристике биогермных фаций на р. Унье (приток р. Печоры).

В заключение нужно сказать, что работы Веры Александровны Варсановьевой не потеряли своего значения и сегодня. Они являются бесценным источником фактического материала, примером беззаветной любви к геологии и фантастической трудоспособности, вдохновляющим нас на пути к новым открытиям.

## Литература

1. Вера Александровна Варсановьева. Сыктывкар: КНЦ УрО АН СССР, 1990. 187 с.
2. Варсановьева В. А. Геологические исследования северо-западной части 124-го листа общей геологической карты СССР // Тр. ВГРО. 1934. Вып. 311. 44 с.
3. ВАВА, 1940.
4. Равикович Александра Иосифовна. Труды А. И. Равикович // История геологии и горного дела: URL: <http://higeo.ginras.ru/view-record.php?tbl=person&id=658>
5. Равикович А. И. К характеристике биогермных фаций верхнего палеозоя бассейна верхней Печоры (р. Унье) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1956. Т. 31. № 2. С. 37—61.

А. Сандула

## АЛЕКСЕЙ ИЕВЛЕВ

(к 60-летию со дня рождения)

### ALEXEY IEVLEV (60<sup>th</sup> birth anniversary)

Alexey Anatolyevich was born on July 5, 1960 in Arkhangelsk. His whole life was devoted to the Komi Republic. He graduated from the Physics and Mathematics Faculty of Syktyvkar State University in 1982, then post-graduate program in the Komi Science Center UB RAS with a degree in Mineralogy. In 1987 he defended his thesis for the degree of Candidate of geological and mineralogical sciences on "Mineralogy of the hypergenesis zone of the Pay-Khoy phosphorite shale". A. A. Ievlev studied the mineralogy of the weathering zone of phosphorite-bearing black shales in the Pay-Khoy and traced the evolution of modern phosphate formation in arctic conditions. For the first time at the Pay-Khoy he discovered and identified cocombite and diadochite and carried out a structural-morphological study of Arctic turquoise in the Pay-Khoy. In 1985—1995 he worked at the Institute of Geology of the Komi SC UB RAS in positions from Junior Researcher to Science Secretary of the Institute. He was one of the organizers of the journal «Vestnik of the Institute of Geology». In 2011 A. A. Ievlev was the Head of the Scientific Geological Museum named after A. A. Chernov at the Institute of Geology, Komi SC UB RAS. He was an active member of the International Commission on the History of Geological Sciences (INHIGEO).



5 июля 2020 года исполнилось бы 60 лет Алексею Анатольевичу Иевлеву, научному сотруднику Института геологии Коми НЦ УрО РАН, кандидату геолого-минералогических наук. Область научных интересов — электронная микроскопия, некристаллические природные образования, горнорудные промыслы и промышленное освоение Европейского Северо-Востока России.

Родился Алексей Анатольевич в 1960 г. в Архангельске, но вся его жизнь связана с Республикой Коми. После окончания в 1982 г. физико-математического факультета Сыктывкарского государственного университета он был принят учителем физики в Школу рабочей молодежи. Через три месяца поступил в очную аспирантуру Коми научного центра УрО РАН по специальности «минералогия». Трудовая деятельность началась в лаборатории экспериментальной минералогии Института геологии.

Первые годы работы для Иевлева были весьма продуктивными. Под руководством В. Н. Филиппова удалось наладить электронный микроскоп Tesla BC-500. Далее последовало участие в работе Всесоюзного симпозиума по электронной микроскопии, стажировка в ВИМС (Москва). Одновременно Алексей Анатольевич продолжал обучение в аспирантуре.

В статье для издания «Акта-ГИЭМ» заведующий ЛЭМ (лаборатория экспериментальной минералогии) А. М. Асхабов, оценивая деятельность каждого сотрудника, писал: «В А. Иевлеве я вижу самого себя 10—12-летней давности. Схожие черты вижу не только в биографических совпадениях (физфак

университета, работа в школе, блестяще сданные экзамены в аспирантуру, тема исследования, которая не совсем совпадает с первоначальными ожиданиями). Абсолютно уверен, что он найдет свое место исследователя в минералогической науке и в учении о минералоидах прозвучит онтогенетический голос Иевлева».

1987 г. — защита диссертации на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук по теме «Минералогия зоны гипергенеза фосфоритоносных сланцев Пай-Хоя». А. А. Иевлевым детально исследована минералогия зоны выветривания фосфоритоносных черных сланцев Пай-Хоя и прослежена эволюция современного фосфатообразования в арктических условиях. Впервые на Пай-Хое им обнаружены и идентифицированы кокомбит и диадохит, проведено структурно-морфологическое изучение арктической бирюзы на Пай-Хое.

С 1985 по 1995 гг. А. А. Иевлев работал в Институте геологии Коми научного центра УрО РАН, прошел путь от младшего научного сотрудника до учёного секретаря института. Был одним из организаторов издания «Вестник Института геологии».

В 1995—1996 гг. Алексей Анатольевич — заместитель директора АО «Гермес-Коми», с 1996 по 2005 гг. — заместитель директора ООО «Фонд экономических и политических технологий».

2005—2011 гг. — работал в Министерстве промышленности и энергетики Республики Коми. За годы работы в министерстве на должностях от главного специалиста до заместителя начальника департамента горнорудной промышленности Алексей Анатольевич увлекся историей горной промышленности.

В 2011 г. А. А. Иевлев вернулся в Институт геологии и стал руководителем научного Геологического музея им. А. А. Чернова.



Иевлев за прибором / Ievlev at the device

Трудолюбие, дисциплинированность, интеллектуальная одаренность, пылкий ум позволили Алексею Анатольевичу успешно заниматься решением вопросов из различных областей наук.

Алексей Анатольевич провел масштабное изучение документов Национального архива Республики Коми и ввел в научный оборот сотни новых архивных материалов. Это позволило ему восстановить историю создания и деятельности многих уникальных горных производств Европейского Северо-Востока России.

А. А. Иевлев стал одним из корифеев в области истории науки и техники. Его работы открыли новые факты в истории промышленного освоения региона. «Факты и легенды проросли друг в друга», — говорил А. А. Иевлев об истории горнорудного производства.

Алексей Анатольевич по-новому взглянул на историю Цилемских медных рудников. Им доказано, что часто упоминаемые в исторической литературе о Коми крае сведения об открытии в 1213 г. медных руд на р. Цильме не имеют под собой документальной основы. Впервые эти «данные» были обнародованы в 1948 г. в период «борьбы с космополитизмом», затем они вошли в библиографический обзор работ по геологии Европейского Северо-Востока России и были опубликованы в академическом томе «Геологическая изученность СССР», посвященном Коми АССР. После этого сведения о 1213 г. стали «непререкаемой истиной», не требующей доказательств. В настоящее время отсутствуют исторически достоверные данные о времени открытия Цилемского месторождения медных руд.

А. А. Иевлев детально воссоздал историю металлургии железа на Европейском Северо-Востоке России. По архивным материалам он установил, что добыча железа на территории Коми края велась с XVI в. Обозначил места и объемы добычи рудной базы для Кажимского, Нювчимского и Нючпасского заводов, а также исследовал методы поисков железной руды и технологические приемы подготовки и обогащения, которые использовались для производства чугунных изделий. Детально воссоздал историю строительства и деятельности металлургического предприятия на р. Унье в Печорском крае (Усть-Бердышский завод) на рубеже XIX—XX вв. Выяснил, что за несколько лет завод выплавил 900 т металла и был закрыт по экономическим причинам. Это была послед-

няя попытка создания железоделательного предприятия на Европейском Северо-Востоке России на местной рудной базе.

А. А. Иевлевым восстановлена история освоения Кажимского угольного месторождения. Шахта была введена в эксплуатацию в годы Великой Отечественной войны для частичной компенсации ресурсных потерь СССР в связи с временной утратой Донецкого и Подмосковского угольных бассейнов. Подробно описана деятельность угледобывающего предприятия в период 1944—1961 гг., в течение которого предприятием было добыто свыше 2 млн т угля. Но высокая себестоимость добычи угля, малые запасы сырья на месторождении, а также сложные горно-технические условия залегания угольных пластов привели к прекращению работы шахты.

Благодаря А. А. Иевлеву стала известна история первого горнорудного предприятия на Полярном Урале — Харбейского молибденитового рудника (1947—1954 гг.), строившегося в послевоенные годы с целью обеспечения отечественной промышленности высококачественной молибденитовой рудой и закрытого из-за небольших запасов месторождения и изменения цен на молибден на мировом рынке.

А. А. Иевлев восстановил историю создания и деятельности основных горных предприятий Республики Коми в XX в.: угольного рудника Еджид-Кырта, где добывали первый промышленный уголь Печорского бассейна, Ижемского гелиевого завода, радиевого Водного промысла, Ижемского асфальтового рудника, Кажимского металлургического завода, Сереговского солеваренного завода.

Алексей Анатольевич уделял большое внимание вопросам истории научных исследований. На основе архивных материалов и опубликованных работ А. А. Иевлев изучил историю проведения экспедиционных работ на территории Коми. Им сделан ретроспективный анализ от фактически первой государственной российской рудопоисковой экспедиции на р. Цильме в 1491 г., первой академической экспедиции в 1933 г. до современных исследований, проводимых сотрудниками Института геологии. Выделены основные этапы формирования научных геологических знаний по изученности Европейского Северо-Востока России. Представлена роль Института геологии в организации планомерного геологического изучения региона. Особое место в исторической ретроспективе А. А. Иевлев уделил деятельности Печорской бригады Полярной комиссии АН СССР под руководством академика А. П. Карпинского в 1933 г.

А. А. Иевлев исследовал историю появления первых учреждений Академии наук СССР на территории Коми. Предпринимаемые на протяжении двух десятилетий усилия органов власти, геологов производственных организаций и ученых привели к созданию Базы Академии наук в Сыктывкаре, явившейся предтечей будущего Коми филиала АН СССР и Института геологии в его составе.

Благодаря Алексею Анатольевичу в истории науки восстановлены имена ученых-геологов, которые стояли у истоков освоения Крайнего Севера, добавлены новые сведения. В числе публикаций А. А. Иевлева — научные статьи, заметки в газете, информация в энциклопедиях Республики Коми



Скважина Сереговского сользавода. 2008  
Borehole of the Seregov salt plant. 2008



А. А. Иевлев возле входа в штольню на Харбейском месторождении (Полярный Урал). 2012  
A. A. Ievlev near the entrance to the adit at the Kharbey field (Polar Urals). 2012

и Ненецкого автономного округа о И. М. Попове — первом коми-геологе; о первых путешественниках, посетивших и исследовавших Печорский край — Барбоге де Марни, Н. К. Витсене, А. А. Кейзерлинге, Н. Е. Ермилове, Т. С. Борноволокове; о первооткрывателях месторождений полезных ископаемых — А. И. Блохине, Г. П. Софронове.

Изучение истории горнорудных промыслов через архивные материалы А. А. Иевлев совмещал с полевыми исследованиями. Он организовал экспедиционные исследования на многих объектах горно-индустриального наследия Тимано-Североуральского региона — Ижемском асфальтитовом руднике, угольном руднике Еджид-Кырта, Харбейском молибденитовом руднике, Сереговских солеваренном и известковом заводах, Кажимском, Нювчимском и Нючпасском железодельных заводах — с целью изучения материальных остатков производств и сбора музейных образцов.

Алексей Анатольевич практически подготовил докторскую диссертацию по теме «Минерально-сырьевая база как основа пространственного освоения и создания промышленности Коми в XX веке», но, к сожалению, не успел закончить эту работу. За свой вклад в историю науки он был избран действительным членом Международной комиссии по истории геологических наук (INHIGEO) на 39-й сессии комиссии, проходившей в июле 2014 года в США.

Вот лишь некоторые из научных работ А. А. Иевлева, посвященных истории промышленного освоения и развития горнорудного производства на Европейском Северо-Востоке России:

Иевлев А. А. Древние горные промыслы и производства Европейского Северо-Востока России // Российская Арктика: история, современность, перспективы: Материалы XV междунар. Соловец. форума / Ред., сост. Ю. Ф. Лукин, Е. А. Суворова. Архангельск; Соловецкие острова, 2012. С. 64—99.

Иевлев А. А. Миф о 1213 году в истории освоения недр Европейского Северо-Востока России // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 3. С. 20—23.

Иевлев А. А. Легенда о золотом талере Ивана III // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 11. С. 97—102.

Иевлев А. А. История изучения серебряных рудников Ивана III // Вопросы истории естествознания и техники. 2014. № 1. С. 50—68.

Иевлев А. А. Заккрытие Кажимского и Нючпасского железодельных заводов. Сыктывкар, 2011. 96 с.

Иевлев А. А. Угольный рудник Кажим. Сыктывкар: Геопринт, 2012. 56 с.

Иевлев А. А. Разработка точильного камня в Коми АССР. Сыктывкар, 2010. 60 с.

Иевлев А. А. Асфальтитовый рудник в Коми АССР. Сыктывкар, 2011. 42 с.

Иевлев А. А. Усть-Бердышский металлургический завод: история создания и деятельности предприятия // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». 2013. № 2. С. 12—17.

Иевлев А. А., Астахова И. С. Харбейский молибденитовый рудник: попытка создания первого горнорудного предприятия на Полярном Урале. Сыктывкар: Геопринт, 2012. 48 с.

К. г.-м. н. И. Астахова, Л. Жданова

Редакторы издательства:  
О. В. Габова, К. В. Ордин

Компьютерная верстка:  
А. Ю. Перетягин