

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2  
МАРТ—АПРЕЛЬ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1958 г.

Выходит 6 раз в год



ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

---

МОСКВА-2019

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ СТАТЕЙ, ПУБЛИКУЕМЫХ В ЖУРНАЛЕ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка». (Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]), включенным решением ВАК в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», публикуются статьи, представляющие научный и практический интерес. Статьи, направляемые в редакцию, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Статья должна быть представлена в двух экземплярах, изложена в сжатой форме строгим научным языком, тщательно отредактирована. К рукописи должны быть приложены аннотация на русском языке (100–250 слов) с ключевыми словами и резюме на английском языке с ключевыми словами (100–250 слов).

2. Рукопись должна быть напечатана на компьютере кеглем 12 на белой писчей бумаге, через два интервала с полями шириной 2,5 см, без помарок и вставок. Объем статьи не должен превышать 12 страниц. В рукописи необходимо сделать ссылки на полях на таблицы и рисунки.

3. В рукописи указываются: УДК, название статьи, инициалы и фамилия автора(ов), место работы и адрес на русском и английском языках, электронные адреса авторов. Рукопись подписывается всеми авторами. В конце статьи автор сообщает адрес для переписки (лучше домашний), телефон.

4. В формулах греческие буквы обводятся красным карандашом. Прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое написание, нужно помечать двумя черточками простым карандашом: прописные (заглавные) снизу, строчные — сверху. Трудноразличимые в рукописном обозначении буквы и знаки обязательно пояснять на полях.

5. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ).

6. Таблицы должны иметь тематические заголовки, не быть громоздкими, не дублировать текст и рисунки. Таблицы печатаются на отдельных листах и прилагаются в конце статьи.

7. Рисунки должны быть четко выполнены в черно-белом и цветном виде в компьютерных графических редакторах (CorelDRAW, Photoshop и др.). Компьютерные рисунки необходимо предоставлять в виде изображений и в исходном виде, доступном для правки (т. е. с сохранением отдельных слоёв — кривых, надписей). На обороте каждого рисунка указывается его номер, фамилия автора и название статьи. Подписи к рисункам прилагаются на отдельном листе. Микрофотографии должны иметь контрастное изображение.

8. Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы в алфавитном порядке, оформленный по ГОСТ (в начале — на русском языке, затем — в романском алфавите). При ссылке на изобретение необходимо указать автора, название, год, номер и страницу «Бюллетеня изобретений». Ссылки на работы, находящиеся в печати, не допускаются. Библиографическое описание дается в следующем порядке: фамилия и инициалы автора, полное название работы (для сборника статей — его название), место издания, название издательства, год издания, число страниц (для неперIODических изданий) или интервал страниц (для сборников), для периодических изданий — название журнала, год выпуска, том, интервал страниц. При ссылке на литературный источник в тексте приводится порядковый номер работы в квадратных скобках, например, Н.М. Страхов [3]. Далее отдельным блоком приводится список литературы (References) в романском алфавите, повторяющий список литературы к русскоязычной части, оформленный по стандартам Scopus. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите. Пример оформления журнальной статьи: Author A.A., Author B.V., Author C.C. (транслитерация) Title of article (перевод на английский). Title of Journal (транслитерация и перевод на английский), 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49-53. (In Russ). Более подробно см. О.В. Кириллова «Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам». [http://academy.raspp.ru/files/documents/1\\_2\\_kirillovometrec\\_2012.pdf](http://academy.raspp.ru/files/documents/1_2_kirillovometrec_2012.pdf) Транслитерация приводится по системе BSI (см. <http://ru.translit.net/?account=bsi>).

9. Никакие сокращения слов, имен, названий, как правило, не допускаются. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин, терминов и т. д.

10. Необходимо представлять статью, набранную в Microsoft Word, на CD-диске или флеш-карте или отправить её по электронной почте.

11. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, возвращаются авторам для переделки. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного текста.

12. Дополнения в корректуре против рукописи не допускаются.

13. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращение и редакционные изменения рукописей.

14. Отписки авторам не высылаются.

15. В редакцию необходимо предоставлять официальное письмо-рекомендацию организации за подписью руководителя, заверенной печатью.

16. Плата за публикацию статей не взимается.

**Главный редактор А.В. Лопатин (академик РАН)**

**Заместители главного редактора**

*В.В. Куликов, Ю.А. Попов*

**Члены редакционного совета**

**Председатель В.А. Косьянов**

*А.И. Варламов, П.Н. Гусев, Е.А. Козловский, Пейчен Ли, В.И. Лисов, Г.А. Машковцев,  
И.Г. Спиридонов, К.Н. Трубецкой (академик РАН)*

**Члены редколлегии**

*О.С. Брюховецкий, В.К. Гаранин, С.Д. Ганова, П.А. Игнатов, М.Н. Игнатьева, В.Ю. Керимов, Н.Б. Кузнецов,  
В.С. Куликов, М.Г. Леонов, А.В. Малков, А.В. Маслов (член-корр. РАН), Ю.Б. Марин, (член-корр. РАН),  
З.М. Назарова, А.А. Никитин, Г.Н. Пилипенко, П.Ю. Плечов, В.С. Попов, А.В. Самсонов (член-корр. РАН),  
К.Ж. Семинский, Н.В. Соловьев, А.В. Толстов, В.Ю. Фридовский, Л.Е. Чесалов, Е.Н. Щурова (отв. секретарь),  
Mohammed Amro (Германия), Shaopeng Huang (США, Китай), Massimo Verdoya (Италия)*

Сдано в набор 14.03.2019.  
Бумага офсет. № 1  
Уч.-изд л. 10,50.

Подписано в печать 15.04.2019.  
Гарнитура Таймс  
Тираж 200 экз.

Формат 60×90/8.  
Усл. печ. л. 10,50.  
Заказ

Адрес редакции: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, МГРИ—РГГРУ. Тел.: 8(495)433-61-66.  
E-mail: journal-geology@mgi-rggru.ru, shchurovaen@mgi-rggru.ru. Internet: <http://geology.mgi-rggru.ru/>

© Оформление «Изв. вузов. Геология и разведка», 2019

**СОДЕРЖАНИЕ**

**Геология**

- Чехович В.Д., Сухов А.Н. Геодинамическая природа и модели становления офиолитовых аллохтонов в структуре аккрецированных островодужных систем северо-западного обрамления Тихого океана . . . . . 5
- Молошников С.В. Этапы развития средне—позднедевонской ихтиофауны (Placodermi: Antiarchi) Северной Евразии . . . 11

**Минералогия, петрография, литология**

- Петроченков Д.А. Геммологические характеристики ювелирно-поделочных септарий Ульяновской области . . . . . 21
- Кузнецов В.Г. Значение изучения эволюции осадочного породообразования в истории Земли для реконструкции изменений геохимических обстановок поверхности . . . . . 27

**Полезные ископаемые, методика их поисков и разведки**

- Старкова Т.С., Мальцев М.В., Толстов А.В. Сравнительная характеристика минералов-индикаторов кимберлита и новые перспективы Ыгыаттинского алмазоносного района (Западная Якутия) . . . . . 35
- Степанов В.А., Кунгурова В.Е., Койдан И.А. Золотоносность Камчатского срединного массива . . . . . 44

**Техника геолого-разведочных работ**

- Волкова О.А., Арсентьев Ю.А., Иляхин С.В., Назаров А.П. Повышение устойчивости подземной горной вы-

- работки методом опережающего закрепления грунтобетонном . . . . . 54

**Геофизические методы поисков и разведки**

- Севостьянов Н.А., Юдин М.Н. О решении задач геоэлектрики на постоянном токе посредством глобальной декомпозиции . . . . . 60

**Дискуссии**

- Богданов Н.А. К вопросу о целесообразности официального признания термина «антропоцен» (на примере регионов Евразии) . . . . . 67

**Из истории науки**

- Малышев Ю.Н., Стародубцева И.А., Титова А.В., Черкасов С.В. Геологическому музею имени В.И. Вернадского РАН — 260 лет . . . . . 75

**Критика и библиография**

- Комаров В.Н. О книге «Когда Волга была морем. Левиафаны и пилигримы» . . . . . 81

**Хроника**

- Памяти Владлена Рувимовича Лозовского . . . . . 83

**PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS**  
**GEOLOGY AND EXPLORATION**  
2019, N 2

---

**CONTENTS**

<b>Geology</b>	
Chekhovich V.D., Sukhov A.N. Geodynamic setting and models of the emplacement of ophiolitic allochthons in the structure of accreted island arcs of the Pacific north-western framing . . . . .	5
Moloshnikov S.V. Stages of the development of the Middle—Late Devonian ichthyofauna (Placodermi: Antiarchi) from the northern Eurasia . . . . .	11
<b>Mineralogy, petrography, lithology</b>	
Petrochenkov D.A. Gemological characteristics of jewelry-ornamental septaria of the Ulyanovsk region . . . . .	21
Kuznetsov V.G. Significance of the study of sedimental rock-forming evolution in the Earth history for the reconstruction of the changes of geochemical settings on its surface . . . . .	27
<b>Useful minerals, methods of their prospecting and exploration</b>	
Starkova T.S., Maltsev M.V., Tolstov A.V. Comparative characteristics of indicator minerals of kimberlites and new perspectives diamond of the Ygyatta diamondiferous region (Western Yakutia) . . . . .	35
Stepanov V.A., Kungurova V.E., Koidan I.A. Gold mineralization of the Median Massif, Kamchatka (Kamchatka Sredinnyi Massif) . . . . .	44
<b>Geological exploration technique</b>	
Volkova O.A., Arsenyev Yu.A., Ilaykhin S.V., Nazarov A.P. Increasing the stability of underground mining using the method of advanced fastening of soil-concrete . . . . .	54
<b>Geophysical methods of prospecting and exploration</b>	
Sevostianov N.A., Yudin M.N. To the solution of geoelectric problem on a direct current based on the global decomposition . . . . .	60
<b>Discussions</b>	
Bogdanov N.A. To the question of the expediency of the official recognition of the term «anthropocene» (on the example of the regions of Eurasia) . . . . .	67
<b>From the history of science</b>	
Malyshev Yu.N., Starodubtseva I.A., Titova A.V., Cherkasov S.V. 260th anniversary of the Vernadsky State Geological Museum of RAS . . . . .	75
<b>Critics and bibliography</b>	
Komarov V.N. About the book «When the Volga was the sea. Leviathan and the pilgrims» . . . . .	81
<b>Chronics</b>	
To the memory of Vladlen Ruvimovich Lozovsky . . . . .	83

---

ГЕОЛОГИЯ

GEOLOGY

УДК 551.242

**ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И МОДЕЛИ СТАНОВЛЕНИЯ ОФИОЛИТОВЫХ  
АЛЛОХТОНОВ В СТРУКТУРЕ АККРЕТИРОВАННЫХ ОСТРОВОДУЖНЫХ  
СИСТЕМ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ТИХОГО ОКЕАНА**

*В.Д. ЧЕХОВИЧ, А.Н. СУХОВ*

*Геологический институт РАН  
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия  
e-mail: vadimchekhovich@mail.ru*

Геодинамическая природа офиолитов Камчатки и Южной Корякии рассмотрена на базе модели раскола внутриокеанической островной дуги и последовательной аккреции её тыловой и фронтальной частей к континентальной окраине Северо-Восточной Азии. Выделены надсубдукционные офиолиты тыловодужного, преддугового и междугового происхождения, и лишь в единственном случае — офиолиты чисто океанической природы. Разработаны модели становления надсубдукционных офиолитов: тыловодужных — в результате коллапса (закрытия) окраинного бассейна, преддуговых — за счёт «выталкивания» из преддугового бассейна; междуговых — при сгуживании коры новообразованного бассейна до начала её субдукции. Становление чисто океанических офиолитов явилось результатом скользящей аккреции вдоль сдвига в краевой части Олюторского складчатого сооружения при повороте океанической плиты Тихоокеанского 47 млн. лет тому назад.

Ключевые слова: офиолиты; островные дуги; субдукция; аккреция.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-5-11

**GEODYNAMIC SETTING AND MODELS OF THE EMPLACEMENT OF OPHIOLITIC  
ALLOCHTHONS IN THE STRUCTURE OF ACCRETED ISLAND ARCS  
OF THE PACIFIC NORTH-WESTERN FRAMING**

*V.D. CHEKHOVICH, A.N. SUKHOV*

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences  
7, Pyzhevsky street, Moscow 19017, Russia  
e-mail: vadimchekhovich@mail.ru*

Based on the model of an oceanic island-arc breakup followed by accretion of rear and frontal parts of an arc to a continental margin of North-East Asia, the geodynamic nature of the ophiolites of Kamchatka and South Koryakia has been considered. The suprasubduction zone (SSZ) ophiolites originated in back-arc, fore-arc and intra-arc settings have been distinguished, and ophiolites of an ocean type have been distinguished only in one locality. The models of a SSZ ophiolites origin have been proposed. The emplacement of back-arc ophiolites has been supposed to be a result of the collapse (a closure) of a marginal basin, the emplacement of fore-arc ophiolites has been thought to be caused by their “pushing out” from a fore-arc basin, and the emplacement of the intra-arc basin ophiolites has been ascribed to a piling up of a newly formed basin crust before the beginning of the subduction. The emplacement of the ocean-type ophiolite in the front of the Olyutorsky folded structure has been attributed to a sliding accretion along the strike-slip fault movement related to the change in the motion direction of the Pacific plate 47 Ma ago.

Keywords: ophiolites; island arcs; subduction; accretion.

Работа вписывается в общую фундаментальную проблему интерпретации и моделирования становления офиолитовых аллохтонов, возникших в результате коллизии дуга—континент. Обоснованно выделяемые тетический и кордильерский типы офиолитов [15] характеризуются свойственным им структурным положением и моделями становления. *Тетический тип* связан с процессом *коллизии континент—дуга — континент*, а причиной появления *кордильерского типа* является *аккреция на окраине континента*. К кордильерскому типу относят и офиолиты Камчатки и Корякского нагорья [15]. Подобное в целом справедливо для офиолитовых аллохтонов Олюторской зоны Корьякии и Восточной Камчатки, однако их геодинамическая природа весьма разнообразна, а становление связано со сложными процессами, как геодинамики формирования островных дуг, так и их аккреции [1, 4, 5, 13]. Именно эти процессы рассматриваются в данной работе.

### Геодинамика формирования островодужных террейнов Восточной Камчатки и Южной Корьякии

Проблема возникновения и развития позднемеловых и позднемел-палеогеновых внутриокеанических островных дуг, образования которых слагают в современной структуре Южной Корьякии и Восточной Камчатки аккрецированные террейны, на протяжении полутора последних десятилетий активно обсуждалась в печати [3, 4, 8, 9, 13, 14]. В пределах Южной Корьякии и Восточной Камчатки островодужные террейны позднемелового и позднемел-палеогенового возрастов характеризуются параллельной ориентировкой. Позднемеловые островодужные террейны — Олюторский и Восточных хребтов Камчатки (Восточно-Камчатский) в современной структуре совмещены по Палано-Озерновской трансформной зоне (рис. 1). Аккреция этих террейнов к континенту произошла в раннем эоцене с небольшим разрывом во времени [8, 13]. Позднемел-палеогеновые террейны (Говенский в Южной Корьякии и Кроноцкий Восточных полуостровов Камчатки) были аккрецированы в миоцене [8, 13]. При этом активный вулканизм островных дуг разных возрастов, как ни странно, завершился за несколько миллионов лет до столкновения дуг с континентальной окраиной [13]. Главная задача реконструкций состояла в обосновании взаимно параллельной аккреции островодужных террейнов. Вблизи фронта надвига позднемелового Олюторского террейна (Ватыно-Вывенковский надвиг) на всем его протяжении были установлены изолированные поля развития базальтов MORB-типа [1, 5, 13]. Возраст этих базальтов последовательно омолаживается от альб-туронского до кампан-маастрихтского, что может интерпретироваться как раскрытие бассейна с океани-

ческим типом коры. Геохимический анализ образцов этих базальтов показывает наличие Nb-Ta минимума, что характерно для базальтов задуговых бассейнов [4]. Таким образом, можно предполагать, что в коньяк-кампанское время существовал латеральный ряд — задуговой бассейн—островная дуга—океан. Субдуцируемая океаническая кора принадлежала, судя по последним реконструкциям, плите Изанаги [16]. Развитие палеоцен-миоценовых осадочных бассейнов (Ильпинско-Пахачинского в Олюторской зоне и Тюшевского на Восточной Камчатке), разделявших позднемеловые островодужные террейны от позднемел-палеогеновых, позво-

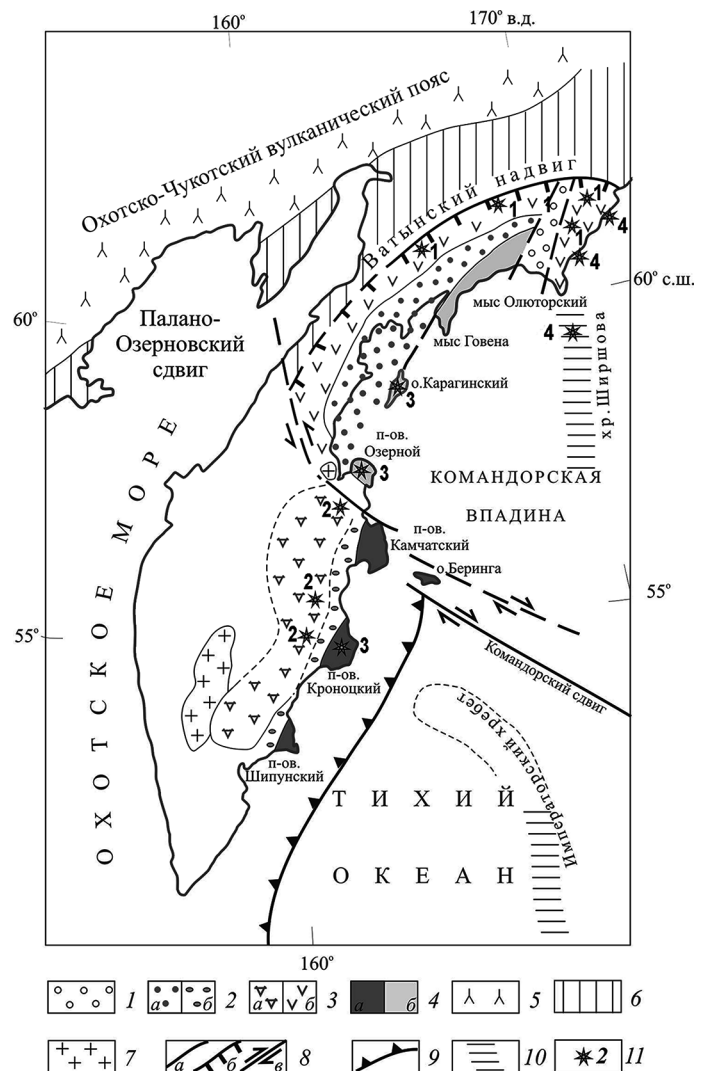


Рис. 1. Схема местоположения офиолитовых аллохтонов в аккрецированных островодужных террейнах Камчатки и юга Корякского нагорья: 1 — рыхлые четвертичные отложения Алуцкого грабена; 2 — кайнозойские междуговые бассейны: Ильпинско-Пахачинский (а), Тюшевский (б); 3 — верхнемеловые островодужные террейны: Восточно-Камчатский (а), и Олюторский (б); 4 — палеогеновые островодужные террейны: Кроноцкий (а), Говенско-Карагинский (б); 5 — альб-кампанский Охотско-Чукотский вулканический пояс; 6 — позднемезозойская окраина Азии; 7 — мезозойские метаморфизованные толщи Срединного хребта Камчатки; 8 — разломы (а), надвиги (б), сдвиги (в); 9 — зона субдукции; 10 — подводные хребты; 11 — офиолитовые аллохтоны: 1–4 — налсубдукционные: 1 — тылово-дужные, 2 — междуговые, 3 — преддуговые; 4 — океанические

ляет рассматривать их как междуговые [12]. По геохимическим и изотопным данным вулканы позднемеловых террейнов (Восточных хребтов Камчатки и Олюторского) были сформированы в тыловой части дуги [10], а вулканы позднемел-палеогеновых (Кроноцкого и Говенского) террейнов соответствуют формированию во фронтальной части позднемеловой дуги [6]. Эти фактические данные позволяют считать, что в палеоцене произошел раскол позднемеловых дуг с раскрытием междуговых бассейнов, ограниченных с северо-запада неактивными островодужными сооружениями, а с юго-востока — действующими островными дугами [12, 13] (рис. 2). Модель раскола позднемеловых дуг с одной стороны, логично объясняет причину завершения вулканизма Олюторской и Восточно-Камчатской дуг ещё до их столкновения с континентом и, с другой стороны, параллельную ориентировку в современной структуре разновозрастных аккрецированных островодужных террейнов. Именно с позиций этой модели будут рассмотрены как геодинамическая природа офиолитов, так и модели их становления в структуре аккрецированных островодужных террейнов Камчатки и Олюторской зоны.

### Геодинамическая природа офиолитовых аллохтонов

**Офиолитовые аллохтоны в структуре Олюторского островодужного террейна** образуют три территориально разобщенных зоны и различаются по составу слагающих их породных ассоциаций. *Первая зона* офиолитовых аллохтонов представлена базальтами, выделяемыми как образования гытгынского комплекса [5]. Она отмечается вблизи фронта Ватынского надвига верхнемеловых островодужных толщ в Олюторской зоне и на Камчатском перешейке, слагая тектонические окна и пластины базальтов океанического типа. Эти базальты изучены в районах озер Гытгын и Эпильчик, на южном побережье бухты Анастасия и в центральной части Олюторского хребта (бассейн р. Ничакваям). Базальты этого комплекса представлены в основной своей массе низкощелочными, умеренно титанистыми толеитами, и несут в своем составе признаки, указывающие на их образование в надсубдукционной обстановке [5]. Вероятно, их формирование началось в альб-туронское время в условиях спрединга образующегося окраинного бассейна и продолжалось, судя по имеющимся микропалеонтологическим определениям [13], на протяжении почти всего позднего мела. Факт разброса возраста базальтов океанического типа от альба-турона до кампана, косвенно указывает на их формирование в окраинном бассейне ограниченного размера. Однако никаких других пород, обычно представляющих офиолитовую ассоциацию, также как часто сопровождающие офиолито-

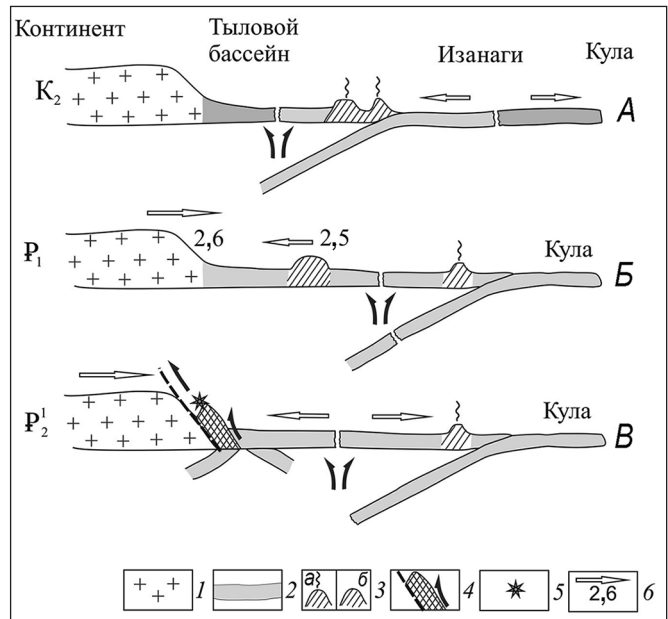


Рис. 2. Модель раскола внутриокеанической островной дуги (А, В) и коллапса (закрытия) тылового бассейна (В), приведшего к появлению тыловодужных офиолитовых аллохтонов: 1 — континентальная окраина; 2 — океаническая литосфера; 3 — островные дуги: активные (а), пассивные (б); 4 — аккрецированные островодужные террейны; 5 — офиолитовые аллохтоны; 6 — направление движения литосферных плит и их скорость (см/год)

вые аллохтоны метаморфические комплексы, в описываемой зоне не встречено. *Вторая офиолитовая зона* тесно связана с аллохтонным по отношению к верхнемеловым островодужным толщам терригенным матриксом, который распространен непосредственно вдоль границы Алеутской океанической котловины с Олюторским островодужным террейном на протяжении более 120 км [2]. Тонкообломочный терригенный матрикс по возрасту относится к маастрихту. Геохимические характеристики и отсутствие вулканокластических компонентов в терригенном матриксе позволяют сопоставлять его с осадками океанического чехла [2]. Среди базальтов выделяются три геодинамических типа: N-MORB коньяк-кампанского возраста (собственно офиолитовый тип), базальты типы OIB и T-MORB, не имеющие точной возрастной привязки, а также щелочные океанические базальты кампанского возраста, слагающие самостоятельный блок Олюторского п-ова. Базальты типа OIB формируют многочисленные, ориентированные в субмеридиональном направлении, достаточно крупные олистолиты в терригенном матриксе, а базальты T-MORB слагают маломощные эффузивные прослои. Базальты N-MORB входят в состав отдельных тектонических пластин, содержащих прослои яшмовидных кремней. Несмотря на различия в геодинамической природе, все вышеупомянутые типы океанических базальтов по изотопно-геохимическим характеристикам сопоставляются с базальтами Пацифики аналогичной геодинамической принадлежности. Важным обстоятельством является бли-

зость возраста базальтов N-MORB (собственно офиолитовой природы) и базальтов иной геодинамической принадлежности, что может свидетельствовать о том, что они формировались в пределах одной океанической плиты. Полученные данные позволяют сделать вывод, что как терригенный матрикс, так и океанические базальты, скорее всего, принадлежат меловой плите Кула (или Изанаги). *Третья зона распространения пород офиолитовой ассоциации* расположена существенно южнее, протягиваясь от о. Карагинского на севере к п-ову Озёрной. В пределах этой зоны преобладают аллохтонные пластины и блоки перидотитов, полосчатых и массивных габбро и отчётливые поля пород дайкового комплекса. Наиболее крупные выходы представляют собой синформы, ядра которых сложены серпентинизированными гарцбургитами, а в лежачем и висячем боках располагаются породы комплекса параллельных даек и серпентинитовый меланж. Эти образования формируют тектонические покровы как на меловом основании Говенской палеогеновой островной дуги, так и на складчатых терригенных толщах преддугового бассейна. Более мелкие тела перидотитов с серпентинитовым меланжем в лежачем боку формируют многочисленные тектонические линзы в аккреционной структуре толщ преддугового бассейна [4, 13]. Возраст этой ассоциации определяется по датированию цирконов методом U/Pb SHRIMP, как кампанский (76—72 млн. лет) [11]. В основании аллохтонных блоков и пластин иногда присутствуют метаморфические породы от зеленосланцевой и амфиболитовой (о. Карагинский) до гранат-амфиболитовой (п-ов Озёрной). По данным И. Кравченко-Бережного [4], эта офиолитовая ассоциация имеет признаки надсубдукционного происхождения. Структурное положение этих офиолитовых аллохтонов, западным «ограничением» которых являются верхнемеловые вулканогенно-кремнистые толщи фундамента Говенской палеогеновой дуги, и их присутствие на разных стратиграфических уровнях терригенных толщ палеогенового преддугового бассейна, позволяет достаточно обоснованно относить офиолитовый комплекс о. Карагинского к преддуговому типу. Вероятно, к этому же типу относятся офиолиты на Кроноцком п-ове, которые расположены между позднемеловым островодужным основанием и палеогеновыми вулканами Кроноцкого террейна.

**Офиолитовые аллохтоны в пределах Восточно-Камчатского островодужного террейна** распространены главным образом в хребте Кумроч и в меньшей мере хребте Валагинский [11, 13]. Отмечаются два типа офиолитовых аллохтонов. *Первый тип*, наиболее ярко выраженный, представлен главным образом серпентинитовым меланжем, который слагает значительные площади в хребте Кумроч. В составе меланжа присутствуют все состав-

ляющие офиолитовой триады. Считается, что поле офиолитового меланжа образует субгоризонтальный тектонический покров на верхнемеловых-датских складчатых комплексах Восточно-Камчатского островодужного террейна и чешуйчатых структурах толщ междуугового бассейна. *Второй тип* целиком ассоциируется с исключительно сложно построенной и недостаточно изученной Ветловской тектонической зоной, сложенной в основном палеоценовыми и нижнеэоценовыми терригенными, терригенно-кремнистыми, иногда кремнисто-карбонатными осадочными толщами, среди которых встречаются (на площади практически не закартированные) блоки раннеэоценовых базальтов океанической природы [1]. Структурное положение Ветловской зоны между аккрецированными в раннем эоцене верхнемеловыми комплексами Восточно-Камчатского островодужного террейна и палеогеновыми вулканогенными комплексами Кроноцкого террейна, аккрецированного в среднем миоцене, позволяет рассматривать нижнеэоценовые океанические базальты Ветловской зоны как фрагменты раскрывавшегося в палеогене междуугового бассейна с океанической корой.

#### Модели становления верхнемеловых офиолитовых аллохтонов

**А. Тыловодужные офиолиты.** Имеющиеся данные показывают, что Олюторская островная дуга превратилась в пассивное сооружение в датском веке, что привело к завершению раскрытия тыловодужного бассейна. Кора этого бассейна начала испытывать двустороннее давление — с севера со стороны Евразийского континента, перемещавшегося в это время на юго-запад со скоростью 2,6 см/год [3], и со стороны пассивного сооружения островной дуги, что определялось расширением междуугового бассейна, скорость которого можно оценить в 2—3 см/год. Время между прекращением субдукции под Олюторскую дугу и её аккрецией к континенту составляет 8—10 млн. лет. Очевидно, что при мощности коры окраинного бассейна существенно меньшей, нежели мощность коры континентальной окраины, с одной стороны, и островной дуги — с другой, иного исхода, нежели коллапс и закрытие окраинного бассейна с частичным шарьированием океанической коры на континентальную окраину быть не могло [13] (рис. 2). Тыловодужные офиолиты (базальты) Олюторской зоны, как уже говорилось, выходят в тектонических окнах из под верхнемеловых аллохтонных островодужных толщ, создавая впечатление «подложки», по которой происходило их шарьирование. Лишь в одном случае (вблизи о. Эпильчик) на океанических базальтах отмечены остатки осадочного чехла, представленные чистыми кремнями и яшмами. Это обстоятельство отличает образования

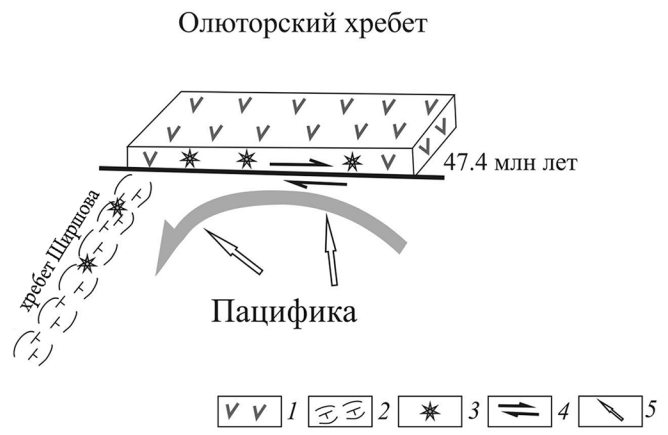


тыловодужного бассейна Олюторской дуги от бассейна подобной же природы Восточно-Камчатской (Валагинской) дуги, в котором сохранён только чехол, представленный кремнисто-терригенно-туфогенным комплексом [7, 12].

**Б. Офиолиты чисто океанической природы.** Чисто океанические офиолиты (базальты N-MORB кампанского возраста), также как базальты OIB и T-MORB, находящиеся в осадочном матриксе океанического происхождения, по модели становления ассоциируются с кампанскими щелочными океаническими базальтами Олюторского п-ова и с кампанским океаническим фундаментом тектонического сооружения подводного хребта Ширшова [2, 13]. Все эти реликты верхнемеловой литосферной плиты Пацифики появились в краевой части Олюторского складчатого сооружения и на морфологическом продолжении Олюторского п-ова в результате скользящей аккреции вдоль сдвига при повороте океанической плиты Пацифики 47 млн. лет тому назад (рис. 3).

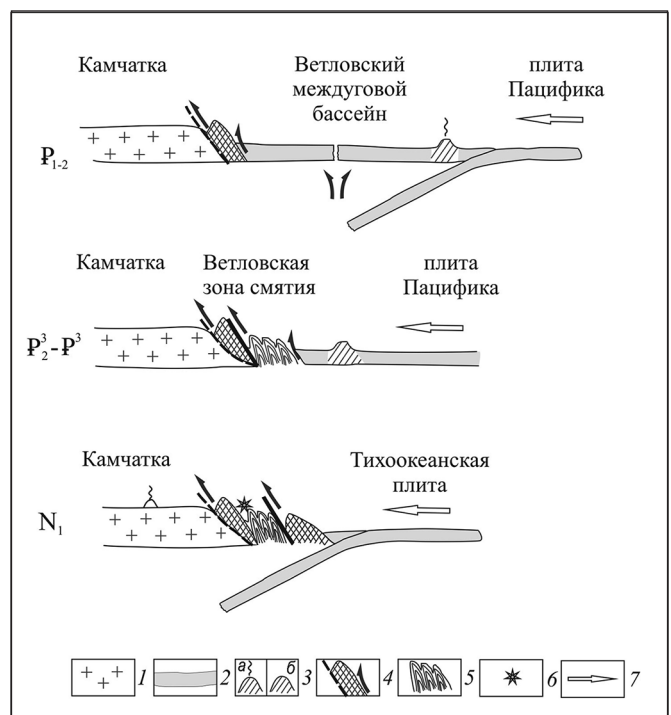
**В. Офиолиты преддугового происхождения.** Несомненность генетической связи офиолитов этого типа с преддуговым бассейном Говенско-Карагинской палеогеновой островной дуги определяется как их положением в современной структуре, которая охарактеризована выше, так и геохимическими признаками надсубдукционного происхождения. Модель «выталкивания» офиолитов из преддугового бассейна обосновывается тем, что, видимо, до середины эоцена под Говенско-Карагинской палеогеновой островной дугой, заложенной на верхнемеловом островодужном основании, поглощалась юрская или раннемеловая кора Пацифики. В конце эоцена к зоне субдукции придвинулась более молодая кора кампанского возраста. Это хорошо доказывается кампанским возрастом аккрецированных по сдвигу офиолитов чисто океанической природы. Эта кора по своим плотностным характеристикам оказалась близкой или, скорее, меньшей, нежели плотности верхнемелового вулканогенного фундамента Говенско-Карагинской островной дуги, что привело к временной невозможности субдукции кампанской океанической литосферы под литосферу верхнемелового основания палеогеновой дуги. Временное прекращение поглощения океанической коры привело к «выталкиванию» офиолитов как раз кампанского возраста в верхние горизонты литосферы, при этом контрфорсом для этого выталкивания служил верхнемеловой фундамент палеогеновой дуги, который и в современной структуре как бы ограничивает распространение офиолитов.

**Г. Офиолиты междуугового происхождения.** Модель появления междууговых офиолитовых аллохтонов в островодужных комплексах Восточной Камчатки основана на идее сгруживания коры новообразо-



**Рис. 3. Модель становления океанических офиолитовых аллохтонов:** 1 — верхнемеловые вулканические толщи Олюторского хребта; 2 — надвиговое сооружение подводного хребта Ширшова; 3 — офиолитовые аллохтоны; 4 — сдвиг; 5 — изменение направления перемещения океанической плиты Пацифики 47, 4 млн. лет тому назад

ванного палеогенового междуугового бассейна с формированием мегамеланжа Ветловской тектонической зоны [1] (рис. 4). Казалось бы, что подобный процесс должен был сопровождать столкновение Кроноцкой дуги, однако оно произошло значительно позднее деформаций в Ветловской зоне [13]. Кроноцкая дуга прекратила свое активное развитие в приабоне, следовательно, с этого времени вошла в состав расширяющейся Тихоокеанской плиты. В этом случае для компенсации



**Рис. 4. Модель становления междууговых офиолитовых аллохтонов:** 1 — континентальная окраина; 2 — океаническая литосфера; 3 — островные дуги: а — активные, б — пассивные; 4 — аккрецированные островодужные террейны; 5 — зона смятия Ветловского междуугового бассейна; 6 — офиолитовые аллохтоны; 7 — направление перемещения литосферных плит

расширения в это же время должно было начаться поглощение молодой океанической коры между дугового бассейна и формирование окраинно-континентальных вулканических комплексов на Камчатке. Однако их появление в Среднем хребте началось (самое раннее) в конце олигоцена. Поскольку фактические данные не позволяют подобным образом решить проблему, становится необходимым предположить возможные процессы компенсации перемещения Тихоокеанской плиты. В качестве такого процесса была предложена идея сгуживания молодой коры между дугового бассейна, которая по причине своей «лёгкости» не могла сразу субдуцироваться. Таким образом, процесс компенсации выразился в формировании предсубдукционного мегамеланжа Ветловской тектонической зоны [13]. Серпентинитовый меланж в силу своей исключительной подвижности был «выплеснут» несколько западнее собственно Ветловской зоны в пределы хребта Кумроч.

### Выводы

Верхнемеловые офиолитовые аллохтоны в образованиях аккретированных островных дуг северо-западного обрамления Тихого океана могут быть отнесены к *кордильерскому* типу. *Различия в геодинамике формирования* позволяет выделять:

*надсубдукционные офиолиты тыловодужного, преддугового и между дугового происхождения*, и лишь в единственном случае — *офиолиты чисто океанической природы*. Предлагаемые модели становления офиолитовых аллохтонов: а) для тыловодужных офиолитов разработана модель коллапса (закрытия) окраинного бассейна, в) для преддуговых офиолитов предложена модель их «выталкивания» из преддугового бассейна вследствие невозможности субдукции кампанской океанической литосферы под литосферу верхнемелового основания палеогеновой дуги; г) появление между дуговых офиолитовых аллохтонов основано на идее сгуживания коры новообразованного бассейна при невозможности поглощения его относительно «лёгкой» океанической коры. Чисто океанические офиолиты (базальты N-MORB) появились в краевой части Олюторского складчатого сооружения в результате скользящей аккреции вдоль сдвига при повороте океанической плиты Пацифики 47 млн. лет тому назад.

Базовое финансирование сотрудников ГИН РАН проводилось за счет субсидии по теме 0135-2016-0022 «Геодинамические аспекты структурообразующих, магматических и осадочных процессов в палеозойско-мезозойской истории северо-западного сектора Тихоокеанского пояса».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аккреционная тектоника Восточной Камчатки. М.: Наука, 1993. 272 с.
2. Богданов Н.А., Гарвер Дж. И., Чехович В.Д., Палечек Т.Н., Леднева Г.В., Соловьев А.В., Коваленко Д.В. Обстановки формирования флишоидно-олистостромового комплекса западного побережья Алеутской глубоководной впадины // Геотектоника. 1999. № 5. С. 52–66.
3. Вержбицкий Е.В., Кононов М.В. Генезис литосферы северной части мирового океана. М.: Научный мир, 2010. 478 с.
4. Геология западной части Берингоморья. М.: Наука, 1990. 158 с.
5. Геология юга Корякского нагорья. М.: Наука, 1987. 168 с.
6. Коваленко Д.В., Ставрова О.О. Пространственное распределение и геодинамические типы источников позднемеловых-раннепалеоценовых магматических комплексов Камчатки (палеомагнитные и изотопно-геохимические данные) // Доклады Академии наук. 2008. Т. 420. № 2. С. 221–224.
7. Константиновская Е.А. Камчатское позднемеловое окраинное море // Литология и полезн. ископаемые. 1997. № 1. С. 59–78.
8. Соловьев А.В. Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит: методы трекового и структурного анализа. М.: Наука, 2008. 318 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 577).
9. Ставский А.П., Чехович В.Д., Кононов М.В., Зоненшайн Л.П. Палинпластические реконструкции Анадырско-Корякского региона // Геотектоника. 1988. № 6. С. 32–42.
10. Сухов А.Н., Цуканов Н.В., Беляцкий Б.В., Рукавишников Д.Д. Вулканические комплексы тыловой части позднемеловой Ачайваем-Валагинской палеодуги в структуре хребта Кумроч (Восточная Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 20–34.
11. Тарарин И.А., Бадрединов, Чубаров В.М. Петрология и рудоносность метаморфических и магматических комплексов Центральной и Восточной Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2015. 302 с.
12. Чехович В.Д., Сухов А.Н. Раскол позднемеловой Ачайваем-Валагинской вулканической дуги в палеоцене (террейны Южной Корякии и Восточной Камчатки) // Докл. Академии наук. 2006. Т. 409. № 5. С. 658–661.
13. Чехович В.Д., Сухов А.Н., Кононов М.В., Паланджян С.А. Геодинамика северо-западного сектора Тихоокеанского подвижного пояса в позднемеловое-раннепалеогеновое время // Геотектоника. 2009. № 4. С. 37–62.
14. Шапиро М.Н. Позднемеловая Ачайваем-Валагинская дуга (Камчатка) и кинематика плит Северной Пацифики // Геотектоника. 1995. № 1. С. 58–70.
15. Dilek Y., Furnes H. Ophiolite and their origin // Elements, 2014. V. 10. P. 93–100.
16. Whittaker J.M., Müller R.D., Sdrolias M. Revised history of Izanagi-Pacific ridge subduction [Электронный ресурс] [https://www.researchgate.net/publication/267245544\_Revised\_history\_of\_Izanagi-Pacific\_ridge\_subduction — дата обращения — 15.12.2018.

### REFERENCES

1. Accretionary tectonic of Western Kamchatka. Moscow, Nauka Publ., 1993, 227 p. (In Russian)
2. Bogdanov N.A., Garver J.I., Chekhovich V.D., Palechek T.N., Ledneva G.V., Soloviev A.V., Kovalenko D.V. Conditions of the formation of the flysh-olistostromal complex in Western framing of Aleutian deep sea depression. *Geotectonics*, 1999, no. 5, pp. 52–56. (In Russian)
3. Verzhbizky E.V., Kononov M.V. *Genesis of lithosphere of the Northern part of World ocean*. Moscow, Nauchny Mir Publ., 2010, 478 p. (In Russian)
4. *Geology of the Western part of the Bering Sea*. Moscow, Nauka Publ., 1990, 158 p. (In Russian)
5. *Geology of the Southern Koryak Hyland*. Moscow, Nauka Publ., 1987, 168 p. (In Russian)

6. Kovalenko D.V., Stavrova O.O. Spatial distribution and geodynamic types of the of the Late Cretaceous and Early Paleogenic magmatic complexes of Kamchatka (paleomagnetic and isotop-geochemical characteristic). *Doklady Earth Sciences*, 2006, V. 420, no 2, pp. 221–224. (In Russian)
7. Konstantinovskaia E.A. Late Cretaceous back-arc basin of Kamchatka. *Litology and mineral deposits*, 1997, no. 2, pp. 58–78 (In Russian)
8. Soloviev A.V. *Investigation of tectonic processes at the convergent settin of lithospgeric plate. Fission-track dating and structural analisis*. Moscow, Nauka Publ., 2008, 318 p. (In Russian)
9. Stavsky A.P., Chekhovich V.D., Kononov M.V., Zonenschain L.P. Palinspastic reconstruction of the Anadir-Korial region. *Geotectonics*, 1988, no. 6, pp. 32–42 (In Russian)
10. Sukhov A.N., Tsukanov N.V., Belyatsky B.V., Rukavishnikova D.D. Back arc volcanic complexes of Late Mezosoic Achaayvaiaam-Valagin paleoarc in Kumroch Range structutre (Eastern Kamchatka). *Vesnik KRAUNZ, Earth Scienses*, 2016, no. 4, pp. 20–34. (In Russian)
11. Tararin I.A., Badredinov Z.G., Chubarov V.M. *Petrology and mineralization of metamorphic and magmatic complexes from Central and Eastern Kamchatka*. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2015, 302 p. (In Russian)
12. Chekhovich V.D., Sukhov A.N. Brake-up of Achaayvaiaam-Valagin island arc in Paleocene {terrain of South Koryak and Eastern Kamchatka). *Doklady Earth Scienses*, 2006, vol. 409, no. 5, pp. 658–661. (In Russian)
13. Chekhovich V.D., Sukhov A.N., Kononov M.V., Palandjian S.A. Geodynamics of the South-West sector of the Pacific mobile belte in the Late Cretaceous – Early Paleogene. *Geotectonics*, 2009, no. 4, pp. 37–62. (In Russian)
14. Schapiro M.N. Late Mezosoic Achaayvaiaam-Valagin arc (Kamchatka) and kinematics of the North Pacific plates. *Geotectonics*, 1995, no. 1, pp. 58–70.
15. Dilek Y., Furnes H. Ophiolite and their origin. *Elements*, 2014, V. 10, P. 93–100.
16. Whittaker J.M., Müller R.D., Sdrolias M. Revised history of Izanagi-Pacific ridge subduction. [[https://www.researchgate.net/publication/267245544\\_Revised\\_history\\_of\\_Izanagi-Pacific\\_ridge\\_subduction](https://www.researchgate.net/publication/267245544_Revised_history_of_Izanagi-Pacific_ridge_subduction) (last accessed 15.12.2018)].

УДК 567:551.734

## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СРЕДНЕ—ПОЗДНЕДЕВОНСКОЙ ИХТИОФАУНЫ (PLACODERMI: ANTIARCHI) СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

С.В. МОЛОШНИКОВ

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Музей землеведения)  
д. 1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия  
e-mail: molsergey@rambler.ru*

В развитии антиарх (Placodermi, Antiarchi) Северной Евразии в среднем—позднем девоне выделяются три этапа: среднедевонский (I), ранний позднедевонский (II) и поздний позднедевонский (III). Эта этапность устанавливается по смене систематического состава, появлению и вымиранию крупных таксонов антиарх, а также доминированию различных групп этих рыб в ихтиокомплексах. Первый этап охватывает эйфельское и живетское время и характеризуется распространением преимущественно представителей астеролепидоформных антиарх семейств Pterichthyodidae и Asterolepididae, а также примитивных ботриолепидоформных Dianolepididae. В некоторых регионах в это время могут присутствовать редкие Bothriolepididae. Для второго (франского) этапа характерно увеличением численности Bothriolepididae, среди которых присутствуют географически широко распространённые виды (космополиты). Третий этап охватывает фаменский век и характеризуется распространением представителей отряда Bothriolepiformes. Фаменские ботриолепидоформы в Северной Евразии представлены семействами Bothriolepididae и Tubalepididae. Из астеролепидоформных антиарх присутствуют только редкие Remigolepididae. Приводится характеристика этапов и обсуждаются их границы. Наиболее существенные перестройки таксономического облика фауны антиарх в Северной Евразии происходили на границах (или вблизи них) живетского и франского, франского и фаменского веков.

**Ключевые слова:** низшие позвоночные; ихтиофауна; панцирные рыбы; антиархи; этапность развития; биоразнообразие; средний-поздний девон; Северная Евразия.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-11-20

## STAGES OF DEVELOPMENT OF THE MIDDLE—LATE DEVONIAN ICHTHYOFAUNA (PLACODERMI: ANTIARCHI) FROM THE NORTHERN EURASIA

S.V. MOLOSHNIKOV

*Lomonosov Moscow State University (Earth Science Museum)  
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory  
1, e-mail: molsergey@rambler.ru*

Three stages, namely Middle Devonian (I), Early Late Devonian (II) and Late Late Devonian (III), are distinguished in the evolution of antiarchs (Placodermi, Antiarchi) in the Middle-Late Devonian of Northern Eurasia. These stages are set by changing the systematic composition, appearance and extinctions of antiarch taxa, as well as

the dominance of different antiarch groups in the ichthyocomplexes. The first stage is of Eifelian and Givetian in age and characterized by the development mainly of the asterolepiform antiarchs of the families Pterichthyodidae and Asterolepididae, as also by the primitive bothriolepiform Dianolepididae. Rare bothriolepidids were present in some regions of Northern Eurasia. The second (Frasnian) stage is marked by the bothriolepidid increasing in numbers. The bothriolepidids became widely spread in Northern Eurasia. The third stage is of Famennian in age and described mainly by the bothriolepiforms from the families Bothriolepididae and Tubalepididae. Rare remigolepids were present among asterolepiforms during this stage. The characteristic of the stages is given, and position of their borders is discussed. The most significant changes in taxonomic composition of the antiarch fauna in the Northern Eurasia occurred at (or near) the borders of Givetian and Frasnian, Frasnian and Famennian ages.

Key words: Early Vertebrates; Ichthyofauna; Placoderms; Antiarchs; Stages of Development; Biodiversity; Middle-Late Devonian; Northern Eurasia.

В средне—верхнедевонских отложениях остатки антиарх (Placodermi: Antiarchi), своеобразной и географически широко распространенной группы панцирных рыб, встречаются на территории всех континентов. Они известны из многих местонахождений низших позвоночных как в континентальных, так и в прибрежно-морских отложениях Северной Евразии. Высокие темпы эволюции, морфология, обеспечивающая хорошую диагностичность остатков, и вместе с тем их широкое географическое распространение позволяют использовать остатки антиарх в биостратиграфии. Эта группа рыб относится к числу руководящих ископаемых девона различных регионов мира.

В средне—позднедевонское время широко распространяются антиархи с полностью сформированным грудным суставом (processus brachialis) — эуантиархи или настоящие антиархи (Euantiarchi), известные в геологической летописи с конца раннего девона [28, 29]. В эйфельское время появляются многие таксоны настоящих антиарх, существовавших в течение позднедевонского времени. Среди них широко распространенные роды *Bothriolepis* и *Asterolepis* [2, 4, 30, 31].

По результатам проведенного анализа систематического состава и стратиграфического распространения эуантиарх в разных областях Северной Евразии [14, 15, 17, 25, 26], автором выделяются три крупных этапа в развитии этой группы в среднем—позднем девоне [13, 16]: I — среднедевонский, II — ранний позднедевонский, III — поздний позднедевонский. Эта этапность устанавливается по смене систематического состава, появлению и вымиранию крупных таксонов и доминированию различных групп антиарх в ихтиокомплексах. Ниже приводится характеристика выделяемых этапов.

#### Этапность развития фауны антиарх Северной Евразии

**Среднедевонский (I) этап** охватывает эйфельское и живетское время и характеризуется распространением в Северной Евразии преимущественно представителей астеролепиформных антиарх семейств Pterichthyodidae и Asterolepididae, а также примитивных ботриолепиформных Dianole-

pididae. В некоторых регионах в это время могут присутствовать редкие Bothriolepididae. Птерихтиодиды существуют только во время этого этапа и широко распространяются в Северной Евразии, достигая максимума своего разнообразия. В среднедевонское время представлены виды антиарх с узким географическим распространением, охватывающим отдельные регионы.

Эйфельские антиархи хорошо изучены из северо-западного субрегиона Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Из отложений пярнуского и наровского горизонтов известны птерихтиодиды *Byssacanthus dilatatus* и астеролепидиды *Asterolepis estonica* (табл. 1).

В живетское время антиархи были более многочисленными и распространяются по территории Северной Евразии значительно шире. В это время в ихтиокомплексах на территории ВЕП также присутствуют виды родов *Byssacanthus* и *Asterolepis*: *B. dilatatus*, *A. estonica*, *A. dellei*, *A. essica* и *A. ornata* [2, 4] (табл. 1). В живете Центрального Казахстана антиархи представлены птерихтиодидами (*Stegolepis jugata*, *S. tuberculata*, *Sherbonaspis andreannae*), аспераспидидами (*Asperaspis carinata*) и ботриолепиформными антиархами — тенизолепидинами (*Tenizolepis asiatica*, *T. rara*) и ботриолепидинами (*Bothriolepis kassini*, *B. babichevi*) (табл. 2). Казахстанский *Stegolepis*, с коротким панцирем и развитым спинным шипом на передней среднеспинной кости, по-видимому, очень близок европейскому *Byssacanthus* и образует с ним одно подсемейство *Byssacanthidinae* [26]. Редкие дианолепидиды *Tenizolepidinae* gen. et sp. indet. в это время встречались и на территории Тувинского прогиба в Южной Сибири [26] (табл. 3). Они обнаруживают сходство с казахстанскими тенизолеписами, в частности, наибольшее с *Tenizolepis asiatica* (Обручева), что, вероятнее всего, указывает на тесную связь между казахстанской и тувинской палеозоогеографическими провинциями в живетское время. На территории Сибирской платформы (Тунгусская синеклиза) в позднеживетское время известны редкие антиархи, предположительно относимые к роду ботриолепис — *Bothriolepis* (?) sp. [14, 17, 26].

В конце живетского века птерихтиодиды и тенизолепидины вымирают; только в живетское время существовали аспераспидиды. На территории

Таблица 1

Изменение состава фауны ангиарх Восточно-Европейской платформы (Главное девонское поле) в среднем девоне

ОСШ	Стандартная зональная шкала	Субрегиональная шкала	Систематический состав ангиарх		Количественный состав ангиарх		Этапы развития	
			Asterolepiformes	Bothriolepiformes	Виды	Роды		
Средний	Ярус	Горизонты	Гайский	<b>Asterolepididae:</b> <i>Asterolepis ornata</i> , <i>A. essica</i> , <i>Asterolepis</i> sp.	<b>Bothriolepididae:</b> <i>Bothriolepis</i> sp.	4	2	II
			Буртнякский	<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus</i> sp., <b>Asterolepididae:</b> <i>Asterolepis dellei</i> , <i>A. essica</i> , <i>Asterolepis</i> sp.		4	2	
	Живетский	Аруктолаский		<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus dilatatus</i> ; <b>Asterolepididae:</b> <i>Asterolepis estonica</i>		2	2	
				<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus dilatatus</i> ; <b>Asterolepididae:</b> <i>Asterolepis estonica</i>		2	2	
	Эйфельский	Наровский			<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus dilatatus</i> ; <b>Asterolepididae:</b> <i>Asterolepis estonica</i>		2	2
					<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus dilatatus</i>		1	1
		Пярнуский			<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus dilatatus</i>		1	1
					<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Byssacanthus dilatatus</i>		1	1

Примечание. Соотношение стратиграфических подразделений и распространение ангиарх показано по [2, 4, 23, 24].

Таблица 2

Изменение состава фауны антиарх Центрального Казахстана в живете-фране

ОСШ	Стандартная зональная шкала	Региональная шкала	Систематический состав антиарх		Количественный состав антиарх		Этапы развития
			Аsterolepiformes	Bothriolepiformes	Виды	Роды	
Верхний Франкский	Конодонты	Горизонты	?		?	?	II
	<i>linguiformis</i>	Без названия					
	<i>rhenana</i>						
	<i>jamieae</i>						
	<i>hassi</i>	Майский			4	1	
	<i>punctata</i> <i>transitans</i> <i>falsiovalis</i>						
Средний Живетский	<i>norrisi</i> <i>disparilis</i>	Айдарлинский	<b>Pterichthyodidae:</b> <i>Sherbonaspis andreannaee</i>	<b>Dianolepididae:</b> <i>Tenizolepis asiatica</i>	2	2	I
	<i>hermanni-cristatus</i> <i>varcus</i>						
	<i>hemiansatus</i>	Тулькилинский	<b>Asperaspidae:</b> <i>Asperaspis carinata</i> ; <b>Pterichthyodidae:</b> <i>Stegolepis jugata</i> , <i>S. tuberculata</i>	<b>Dianolepididae:</b> <i>Tenizolepis rara</i> ; <b>Bothriolepididae:</b> <i>Bothriolepis babichevi</i> , <i>B. kassini</i>	6	4	

Примечание. Соотношение стратиграфических подразделений и распространение антиарх показано по [5–9, 15, 26].

Изменение состава фауны ангиарх Южной Сибири в среднем—позднем девоне

ОСШ	Отдел	Стандартная зональная шкала	Региональная шкала	Систематический состав ангиарх		Количественный состав ангиарх		Этапы развития					
				Конодонты	Горизонт	Bothriolepiformes	Виды		Роды				
Верхний	Ярус Фаменский	<i>praesulcata</i> <i>expansa</i> <i>postera</i> <i>trachytera</i> <i>marginifera</i> <i>rhomboida</i> <i>crepida</i> <i>triangularis</i> <i>linguiformis</i>	Тубинский	Bothriolepidae: <i>Tubalepis extensa</i>		1	1	1	III				
				Bothriolepididae: <i>Bothriolepis sibirica</i> , <i>B. dorakarasugensis</i> , <i>B. cf. B. sibirica</i> , <i>B. cf. B. cellulosa</i>		6	2	2	II				
				Bothriolepididae: <i>Bothriolepis sibirica</i> , <i>B. cf. B. sibirica</i> , Bothriolepididae gen. et sp. indet.		5							
				Dianolepididae: Tenizolepidinae gen. et sp. indet.		1	1	1	I				
				Средний	Живетский	<i>norrisi</i> <i>disparilis</i> <i>hermanni-cristatus</i> <i>varcus</i> <i>hemiansatus</i>	Бейский	Bothriolepididae: <i>Grossilepis</i> aff. <i>G. tuberculata</i> , <i>Bothriolepis</i> sp., <i>Bothriolepis</i> (?) sp.					
								Bothriolepididae: <i>Bothriolepis sibirica</i> , <i>B. cf. B. sibirica</i> , Bothriolepididae gen. et sp. indet.					
								Dianolepididae: Tenizolepidinae gen. et sp. indet.					
								Bothriolepididae: <i>Bothriolepis sibirica</i> , <i>B. cf. B. sibirica</i> , Bothriolepididae gen. et sp. indet.					
								Dianolepididae: Tenizolepidinae gen. et sp. indet.					
								Bothriolepididae: <i>Bothriolepis sibirica</i> , <i>B. cf. B. sibirica</i> , Bothriolepididae gen. et sp. indet.					

Примечание. Соотношение стратиграфических подразделений и распространение ангиарх показано по [3, 14, 17, 26]

северо-запада ВЕП птерихтиодиды исчезают в конце живетского времени. Остатки последних птерихтиодид известны из буртниецкого горизонта. В отложениях гауйского горизонта они уже не встречаются, в этих же отложениях появляются остатки первых для платформы ботриолепидид *Bothriolepis* sp. [22, 23]. Учитывая это, на территории ВЕП верхняя граница первого этапа в настоящее время может быть проведена в конце буртниецкого времени по исчезновению птерихтиодид и появлению ботриолепидид, в отличие от других регионов Северной Евразии, где она проводится в конце живета.

**Ранний позднедевонский (II) этап** характеризуется увеличением численности ботриолепидид. Среди *Bothriolepididae* присутствуют географически широко распространенные виды (космополиты), встречающиеся в разных регионах Северной Евразии. Этот этап охватывает преимущественно франское время. На ВЕП к нему могут быть отнесены и верхи живета (см. выше).

В франском веке антиархи распространились на значительной части территории Северной Евразии. На территории ВЕП в это время развивались как астеролепидиды, появившиеся во время среднедевонского этапа, так и ботриолепидиды, с появлением которых на платформе связывается начало раннего позднедевонского этапа. В северо-западном субрегионе ВЕП в ранне—позднефранское время вместе с астеролеписами *Asterolepis radiata*, *A. syasiensis* и *A. ? amulensis* присутствуют виды рода *Bothriolepis* и *Grossilepis*: *B. prima*, *B. obrutschewi*, *B. cellulosa*, *B. maxima*, *G. tuberculata* и др. (табл. 4). Из аматских отложений у с. Ям-Тесово Д.В. Обручевым [18] был описан вид *Asterolepis cristata*, позднее сведённый в синонимику *A. radiata* [2, 4]. *A. cristata* был выделен по своеобразной скульптуре наружной поверхности костей, состоящей из мелких конусовидных с заостренными верхушками бугорков, расположенных беспорядочно и близко один к другому, а также по сравнительно высокому спинному гребню туловищного панциря. Кости черепной крыши у *A. cristata* крепко срастались между собой, поэтому их границы определяются с трудом. Эти признаки сильно выделяют *A. cristata* среди других известных представителей рода *Asterolepis*, поэтому, возможно, что вид всё-таки должен рассматриваться в качестве самостоятельного [11, 25]. В центральном субрегионе платформы астеролепидиды были многочисленными только в тиманское время, откуда известны *Asterolepis radiata* и *A. cf. A. syasiensis*. Начиная с саргаевского времени в ихтиофауне центрального субрегиона из антиарх представлены только редкие ботриолепидиды *Bothriolepididae* indet. [11, 25].

На территории азиатской части Северной Евразии в франском веке были широко распростране-

ны представители семейства *Bothriolepididae*. Достоверные астеролепидиды в настоящее время известны только из арктической области [21]. В Центральном Казахстане существовали эндемичные виды широко распространенного рода *Bothriolepis* (*B. amankonyrica*, *B. kassini*, *B. nikitinae*, *B. tastenica*) (табл. 2); на территории Узбекистана — *B. (?) turanica* и *B. sanzarensis*; на территории Южного Урала — *B. markovskii*. Последний вид является самым ранним ботриолепидидным антиархом в Северной Евразии, у которого был развит костный спинной гребень. Такие гребни, по-видимому, выполняли функцию стабилизатора тела рыбы при плавании и параллельно развились у нескольких видов рода *Bothriolepis*. Во фране Кузнецкого, Минусинского и Тувинского прогибов встречены как эндемичные виды (*Bothriolepis sibirica*), так и космополиты — формы схожие с европейскими видами (*Bothriolepis cf. B. cellulosa*, *Grossilepis aff. G. tuberculata*) (табл. 3), что предполагает связь между южно-сибирской и еврамериканской ихтиофаунами в это время. Наличие такой связи подтверждается и присутствием ботриолепидид *Bothriolepididae* indet. во фране Кузбасса, схожих с ботриолеписами из Центральной Польши и ливнолеписами европейской части России [26].

Судя по находкам антиарх *Asterolepis* cf. *A. maxima* Agassiz, *B. cf. B. obrutschewi* Gross, *B. cf. B. traudscholdi*, *B. cf. B. maxima*, *B. leptochaira* и других позвоночных в верхнем девоне Северной Земли [21], представленных формами, сходными с европейскими, а также *Grossilepis* sp. indet. на северо-западе Сибирской платформы [10], в позднедевонское время североземельская и сибирская ихтиофауны были тесно связаны с еврамериканской и, по-видимому, входили в состав единой провинции, в отличие от тувинской, сохранившей самостоятельность, и в ихтиофауне которой представлены в основном эндемичные виды антиарх (*B. sibirica*, *B. dorakarasugensis*).

Верхняя граница раннего позднедевонского этапа устанавливается в конце франского века на территории ВЕП по исчезновению астеролепидид. Остатки последних предполагаемых астеролепидид *Asterolepididae* ? gen. indet. встречены здесь в отложениях амурского горизонта [4]. В Центральном Казахстане граница проводится по сокращению численности ботриолепидид в конце франы; в Южной Сибири — в верхах франы по сокращению численности ботриолепидид и появлению тубале-пидид.

**Поздний позднедевонский (III) этап** охватывает фаменский век и характеризуется развитием представителей отряда *Bothriolepiformes*, распространённых во многих районах Северной Евразии. Фаменские ботриолепидиды в Северной Евразии представлены семействами *Bothriolepididae* и *Tuba-*



Таблица 4

Изменение состава фауны антиарх Восточно-Европейской платформы (Главное девонское поле) в позднем девоне

ОСШ	Стандартная зональная шкала	Субрегион. шкала	Системагический состав антиарх		Количественный состав антиарх		Этапы развития																													
			Asterolepiformes (Asterolepididae и inc. fam.)	Bothriolepiformes (Bothriolepididae)	Виды	Роды																														
Верхний	Друц	Горизонты	Шкверельский				III																													
								Фаменский	Кетлерский	Жагарский	Швятеский	Мурский	Акменский	Курсаский	Ионишский	Элейский	Амульский	Стипинайский	Памушский	Снежский	Даугавский	Дубниковский	Плявинский	Аматский												
	<i>praesulcata</i>	1																																		
	<i>expansa</i>																																			
	<i>postera</i>																																			
	<i>trachytera</i>																																			
	<i>marginifera</i>																																			
	<i>rhomboidea</i>																																			
	<i>strepida</i>																																			
	<i>triangularis</i>																																			
	<i>linguiformis</i>																																			
	<i>rhenana</i>																																			
	Франский																									II										
																											Asterolepididae ? gen. indet.									
<i>Asterolepis ? amulensis, Walterilepis speciosa</i>																																				
<i>Bothriolepis maxima</i>								1																												
<i>Bothriolepis traudscholdi</i>								1																												
<i>Bothriolepis traudscholdi</i>								2																												
<i>Bothriolepis cellulosa, B. panderi, Grossilepis tuberculata</i>								4																												
<i>Asterolepis radiata, A. cristata</i> – ?	3																																			

Примечание. Соотношение стратиграфических подразделений и распространение антиарх показано по [2, 4, 18, 20, 22, 24 и данным автора].

lepididae. Из астеролепидформных антиарх присутствуют только редкие Remigolepididae.

На территории северо-запада ВЕП в фаменское время представлены ботриолепидиды *Bothriolepis leptochaira*, *B. jani*, *B. ornata* и др. (табл. 4). В начале фамена в центральном субрегионе этой платформы появляются Livnolepidinae (*Livnolepis*, *Rossolepis*). Здесь же ботриолепидиды становятся более разнообразны и многочисленны, чем в франское время. В начале фамена на территории ВЕП появляются ремиголепидиды. Из задонского (нижнефаменского) ихтиокомплекса известны [25]: *Bothriolepis sosnensis*, *Bothriolepis cf. B. leptochaira*, *Bothriolepis sp. indet.*, *Livnolepis zadonica*, *Rossolepis brodensis*, *Remigolepis* (?) sp. Среди задонских антиарх преобладают виды, характерные только для территории Центрального девонского поля (далее ЦДП), и только один вид *B. leptochaira* был распространён в фамене значительно шире. Его остатки известны из фаменских отложений Шотландии, ВЕП, Южного Тимана и Северной Земли [20, 21, 22]. В плавском ихтиокомплексе ЦДП присутствует *Bothriolepis cieceri* Lyarskaja, характерный для кетлерского горизонта северо-запада ВЕП [22]; в хованском — ремиголепидид *Remigolepis armata* Lukševičs с развитым спинным шипом в задней части спинной стороны туловищного панциря. Этот вид является последним из известных видов антиарх на территории ВЕП.

В фамене азиатской части исследуемой области антиархи были очень редки. В Центральном Казахстане в отложениях мейстеровского горизонта известны единичные остатки *Bothriolepis* sp. [1]. В Минусинской впадине в фаменское время был распространён один вид ботриолепидформных антиарх — *Tubalepis extensa* (табл. 3), относящийся к эндемичному южно-сибирскому семейству Tubale-

pididae [26]. С территории Кузнецкого прогиба из подонинского горизонта известны микроостатки *Bothriolepis* sp. и *Antiarchi indet.* [19]. В позднедевонское время на территории современного Кыргызстана также обитали дианолепидиды *Kirgisolepis karabaltaensis* и ремиголепидиды *Remigolepis karakoliensis*, *R. suusamurensis* [27].

## Выводы

Наиболее существенные изменения таксономического облика фауны антиарх в Северной Евразии происходили на границах (или вблизи них) живетского и франского, франского и фаменского веков. На границе эйфеля и живета существенной смены состава антиарх в ихтиокомплексах не наблюдается (показано на примере ВЕП).

В разных регионах Северной Евразии границы выделяемых этапов могут не совпадать, например, граница первого и второго этапов на территории ВЕП и в Центральном Казахстане и Южной Сибири. Это обусловливается прежде всего неравномерностью развития ихтиофауны, а также спорностью проведения стратиграфических границ между ярусами в разных регионах.

Выделенная ранее автором [12] этапность развития панцирных рыб в позднем девоне ВЕП (Центральное девонское поле), обусловленная изменениями условий морского бассейна, представляет собой внутриэтапные подразделения (стадии) раннего и позднего позднедевонских этапов на этой платформе.

Выделяемые этапы отражают макроэволюционные особенности эволюции антиарх, в то время как стадии во многом отвечают изменениям палеогеографических, палеогидрологических и других условий девонских бассейнов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанов Ю.Ф., Малиновская С.П., Рязанцев А.В. и др. Новые данные по стратиграфии девонских отложений Оленты-Шидертинской впадины // Материалы по геологии Центрального Казахстана. Т. 19: Проблемы геологии Центрального Казахстана. Книга 2: Вопросы геологии среднего и верхнего палеозоя, тектоники и металлогении. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 69–85.
2. Каратайте-Талимаа В.Н. Род *Asterolepis* из девонских отложений Русской платформы // Вопросы геологии Литвы. Вильнюс: Ин-т геол. геогр., 1963. С. 65–224.
3. Краснов В.И., Перегедов Л.Г., Ратанов Л.С. и др. Стратиграфия девонской системы Сибири. Проблемы корреляции // Верхний палеозой России: стратиграфия и фациальный анализ. Матер. 2-й Всерос. конф., посвященной 175-летию со дня рождения Н.А. Головкинского / Ред. В.В. Силантьев. Казань: КГУ, 2009. С. 29–31.
4. Лярская Л.А. Панцирные рыбы девона Прибалтики: *Asterolepidae*. Рига: Зинатне, 1981. 152 с.
5. Мазарович О.А., Малиновская С.П., Юрина А.Л. и др. Современное состояние стратиграфической схемы девона Центрального Казахстана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1985. Т. 60. Вып. 6. С. 71–94.
6. Малиновская С.П. Новый среднедевонский род *Stegolepis* (*Antiarchi*, *Placodermi*) из Центрального Казахстана // Палеонтол. журн. 1973. № 2. С. 71–82.
7. Малиновская С.П. Девонские ботриолепиды (пластинокожие рыбы) Центрального Казахстана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1988. Т. 63. Вып. 5. С. 56–70.
8. Малиновская С.П., Юрина А.Л. Обоснование возраста континентальных отложений девона Центрального Казахстана по флоре и рыбам // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1975. № 6. С. 32–37.
9. Малиновская С.П., Юрина А.Л. К стратиграфии живетских и верхнедевонских отложений северо-востока Центрального Казахстана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 1. С. 70–81.
10. Матухин Р.Г., Меннер В.В., Талимаа В.Н. Стратиграфия и ископаемые рыбы каларгонского горизонта (верхний девон северо-запада Сибирской платформы) // Девон и карбон азиатской части СССР / Ред. В.Н. Дубатов, О.В. Юферьев. Новосибирск: Наука, 1980. С. 111–126 (Тр. Ин-та геол. и геофиз. Вып. 433).
11. Молошников С.В. Франские антиархи (*Pisces*, *Placodermi*) Центрального девонского поля // Известия вузов. Геология и разведка. 2002. № 4. С. 12–19.
12. Молошников С.В. Основные этапы развития панцирных рыб (*Pisces*, *Placodermi*) Центрального девонского поля // Известия вузов. Геология и разведка. 2008. № 1. С. 3–6.
13. Молошников С.В. Морфология, систематика, особенности эволюции и стратиграфическое значение древних

- рыб: Antiarchi // Жизнь Земли: землеведение, экология, гео-динамика, музеология. Сб. науч. тр. Музея землеведения МГУ. Вып. 35/36. М.: Изд-во МГУ, 2014. С. 203–220.
14. Молошников С.В. Стратиграфическое распространение антиарх (Pisces, Placodermi) в девоне южных областей России // Известия вузов. Геология и разведка. 2015. № 1. С. 6–11.
  15. Молошников С.В. Стратиграфическое распространение и систематический состав средне-позднедевонских панцирных рыб (Antiarchii) Центрального Казахстана // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 14–18.
  16. Молошников С.В. Особенности развития антиарх (Pisces, Placodermi) Северной Евразии в девоне // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М., 2016. С. 68–70.
  17. Молошников С.В. Средне-позднедевонские антиархи (Placodermi) Сибири и их стратиграфическое значение // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в ТГУ. Матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Т. 1. Томск: Томский гос. ун-т, 2017. С. 590–594.
  18. Обручев Д. Описание четырех новых видов рыб Ленинградского девона // Палеонтология и стратиграфия. Матер. ЦНИГРИ. Сб. 1. М., 1933. С. 12–15.
  19. Толоконникова З.А. Палеонтология Кузбасса. Фаменские мшанки западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новокузнецк: КузГПА, 2008. 125 с. (Тр. НИЛ «Палеонтология и палеогеографии». Вып. 2).
  20. Esin D., Ginter M., Ivanov A. et al. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform // Cour. Forsch.-Inst. Senckenb. 2000. № 223. P. 341–359.
  21. Lukševičs E. Stratigraphical occurrence of vertebrate remains in the Upper Devonian of Severnaya Zemlya (Russia) // Acta Geol. Pol. 1999. Vol. 49. № 2. P. 125–131.
  22. Lukševičs E. Bothriolepid antiarchs (Vertebrata, Placodermi) from the Devonian of the north-western part of the East European platform // Geodiversitas. 2001. V. 23. № 4. P. 489–609.
  23. Mark-Kurik E. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus // Cour. Forsch.-Inst. Senckenb. 2000. № 223. P. 309–324.
  24. Mark-Kurik E., Põldvere A. Devonian stratigraphy in Estonia: current state and problems // Estonian J. Earth Sci. 2012. V. 61. № 1. P. 33–47.
  25. Moloshnikov S.V. Devonian antiarchs (Pisces, Antiarchi) from Central and Southern European Russia // Paleontol. J. 2008. V. 42. № 7. P. 691–773.
  26. Moloshnikov S.V. Middle–Late Devonian Placoderms (Pisces: Antiarchi) from Central and Northern Asia // Paleontol. J. 2012. Vol. 46. № 10. P. 1097–1196.
  27. Panteleyev N. New remigolepids and high armoured antiarchs of Kirgizia // Fossil fishes as living animals / Ed. E. Mark-Kurik. Proc. 2nd Intern. Colloquium on the Middle Palaeozoic Fishes. Tallinn: Academia 1, 1992. P. 185–191.
  28. Young G.C. An asterolepidoid antiarch (placoderm fish) from the Early Devonian of the Georgina Basin, central Australia // Alcheringa. 1984. Vol. 8. P. 65–80.
  29. Zhang G.-R., Young G.C. A new antiarch (placoderm fish) from the Early Devonian of South China // Alcheringa. 1992. Vol. 16. P. 219–240.
  30. Zhao W.-J., Zhu M. Siluro-Devonian vertebrate biostratigraphy and biogeography of China // Palaeoworld. 2010. № 19. P. 4–26.
  31. Zhu M., Wang N.-Zh., Wang J.-Q. Devonian macroand microvertebrate assemblages of China // Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg. 2000. № 223. P. 361–372.

## REFERENCES

1. Kabanov Yu.F., Malinovskaya S.P., Ryazantsev A.V. et al. Novie dannie po stratigrafii devonskih otlozhenii Olenti-Shidertinskoi vpadini [New data on the Devonian stratigraphy of the Olenti-Shiderti Trough]. Materiali po geologii Tsentralnogo Kazakhstana [Materials on the geology of Central Kazakhstan], vol. 19: *Problemi geologii Tsentralnogo Kazakhstana* [Problems of the geology of Central Kazakhstan]. Book 2: *Voprosi geologii srednego i verhnego paleozoya, tektoniki i metallogenii* [The geology of Middle and Upper Palaeozoic, Tectonics and Metallogeny]. Moscow, MSU Publ., 1980, pp. 69–85. (In Russian).
2. Karatayute-Talimaa V.N. Rod *Asterolepis* iz devonskih otlozhenii Russkoi platformi [The genus *Asterolepis* from the Devonian of Russian Platform]. *Voprosi geologii Litvi* [The Geology of Lithuania]. Vilnius, Institute Geol. and Geogr. Publ., 1963, pp. 65–224. (In Russian).
3. Krasnov V.I., Peregoedov L.G., Ratanov L.S. et al. Stratigrafiya devonskoi sistemi Sibiri. Problemi korrelyatsii [Devonian stratigraphy of Siberia. Problems of the correlation]. *Verhii paleozoi Rossii: stratigrafiya i fatsialnii analiz. Materiali Vtoroi Vserossiiskoi konferentsii, posvyatshennoi 175-leitiyu so dnya rozhdeniya N.A. Golovkinskogo* [Upper Palaeozoic of Russia: stratigraphy and facial analysis. Proc. of the Second All-Russian Conference dedicated to the 175th anniversary of N.A. Golovkinskiy's birthday]. Kazan, KSU Publ., 2009, pp. 29–31. (In Russian).
4. Lyarskaya L.A. *Pantsirnie ribi Pribaltiki: Asterolepididae* [Placoderms of the Baltic Stages: Asterolepididae]. Riga, Zinatne Publ., 1981, 152 p. (In Russian).
5. Mazarovich O.A., Malinovskaya S.P., Yurina A.L. et al. Sovremennoe sostoyanie stratigraficheskoi shemi devona Tsentralnogo Kazakhstana [Current status of the stratigraphic scheme of the Devonian of Central Kazakhstan]. *Bulleten MOIP. Otd. Geol. — Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, Sec. Geol.*, 1985. vol. 60, no. 6, pp. 71–94. (In Russian).
6. Malinovskaya S.P. Novii srednedevonskii rod *Stegolepis* (Antiarchi, Placodermi) iz Tsentralnogo Kazakhstana [New Middle Devonian genus *Stegolepis* (Antiarchi, Placodermi) from Central Kazakhstan]. *Paleontologicheskii zhurnal — Paleontological Journal*, 1973, no. 2, pp. 71–82. (In Russian).
7. Malinovskaya S.P. Devonskie botriolepidi (plastinokozhie ribi) Tsentralnogo Kazakhstana [Devonian bothriolepids (placoderms) from Central Kazakhstan]. *Bulleten MOIP. Otd. Geol. — Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, Sec. Geol.*, 1988, vol. 63, no. 5, pp. 56–70. (In Russian).
8. Malinovskaya S.P., Yurina A.L. Obosnovanie vozrasta kontinentalnih otlozhenii devona Tsentralnogo Kazakhstana po flore i ribam [Determination of an age of the continental Devonian deposits of Central Kazakhstan based on flora and ichthyofauna]. *Vestnik MGU. Seriya 4. Geologiya — Bulletin of the Moscow State University. Sec. 4: Geol.*, 1975, no. 6, pp. 32–37. (In Russian).
9. Malinovskaya S.P., Yurina A.L. K stratigrafii zhivetskikh i verhnedevoevskikh otlozhenii severo-vostoka Tsentralnogo Kazakhstana [On the Givetian and Upper Devonian stratigraphy of the north-east of Central Kazakhstan]. *Bulleten MOIP. Otd. Geol. — Bulletin of the Moscow Society of Naturalists, Sec. Geol.*, 1983, vol. 58, no. 1, pp. 70–81. (In Russian).
10. Matuhin R.G., Menner V.V., Talimaa V.N. Stratigrafiya i iskopaemие ribi kalargonskogo gorizonta (verhii devon severo-zapada Sibirskoi platformi) [Stratigraphy and fossil fishes of the Kalargonskii Horizon (Upper Devonian of the north-west of Siberian Platform)]. *Devon i karbon aziatskoi chasti SSSR* [Devonian and Carboniferous of the asiatic part of USSR]. Novosibirsk, Nauka Publ. (Proc. of the Institute of Geol. and Geophys.), 1980, vol. 433, pp. 111–126. (In Russian).
11. Moloshnikov S.V. Franski antiarchi (Pisces, Placodermi) Tsentralnogo devonskogo polya [Frasnian antiarchs (Pisces, Placodermi) from Central Devonian Field]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka — Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*, 2002, no. 4, pp. 12–19. (In Russian).
12. Moloshnikov S.V. Osnovnie etapi razvitiya pantsirnih rib (Pisces, Placodermi) Tsentralnogo devonskogo polya [Main stages of the development of placoderms (Pisces, Placodermi) from Central Devonian Field]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka — Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*, 2008, no. 1, pp. 3–6. (In Russian).
13. Moloshnikov S.V. Morfologiya, sistematika, osobennosti evolutsii i stratigraficheskoe znachenie drevnih rib: Antiarchi [Morphology, systematics, evolution and stratigraphical significance of the fossil fishes: Antiarchi]. *Zhizn Zemli: zemlevedenie, ekologiya, geodinamika, muzeologiya. Sbornok nauchnih trudov Muzeya zemlevedeniya MGU* [The Life of the Earth: Earth Sciences, ecology, geodynamics, museology. Proceedings of the Earth Sciences Museum of Moscow State

- University]. Moscow, MSU Publ., 2014, vol. 35/36, pp. 203–220. (In Russian).
14. Moloshnikov S.V. Stratigraficheskoe rasprostranenie antiarch (Pisces, Placodermi) v devone yuzhnykh oblastei Rossii [The stratigraphic distribution of antiarch remains (Pisces, Placodermi) in the Devonian of south regions of Russia]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka – Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*, 2015, no. 1, pp. 6–11. (In Russian).
  15. Moloshnikov S.V. Stratigraficheskoe rasprostranenie i sistematicheskii sostav sredne-pozdnedevonskikh pantsirnykh rib (Antiarchi) Tsentralnogo Kazakhstana [Stratigraphic distribution and systematic composition of the Middle-Late Devonian placoderms (Antiarchii) from Central Kazakhstan]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka – Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*, 2016, no. 2, pp. 14–18. (In Russian).
  16. Moloshnikov S.V. Osobennosti razvitiya antiarch (Pisces, Placodermi) Severnoi Evrazii v devone [Specificity of the evolution of antiarchs (Pisces, Placodermi) from Northern Eurasia in the Devonian]. *Problemi regionalnoi geologii Severnoi Evrazii. Materiali konferentsii* [Problems of the regional geology of Northern Eurasia. Proc. of the Conf.]. Moscow, MGRI-RGGRU Publ., 2016, pp. 68–70. (In Russian).
  17. Moloshnikov S.V. Sredne–pozdnedevonskie antiarchi (Placodermi) Sibiri i ih stratigraficheskoe znachenie [Middle-Late Devonian antiarchs (Placodermi) from Siberia and their stratigraphical significance]. *Sovremennye problemi geografii i geologii: k 100-letiyu otkritiya estestvennogo otdeleniya v TGU. Mater. IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnim uchastiem* [Current problems of geography and geology: to the 100th anniversary of the foudation of the Natural Department at TSU. Proc. of the IV All-Russian scientific practical conference with international participation]. Tomsk, TSU Publ., 2017, vol. 1, pp. 590–594. (In Russian).
  18. Obruchev D. Opisanie chetireh vidov pib Leningradskogo devona [Description of the four species of fishes from the Leningrad Devonian]. *Paleontologiya i stratigrafiya. Materiali TsNIGRI* [Paleontology and stratigraphy. Proc. of the CSRGEI], 1933, vol. 1, pp. 12–15. (In Russian).
  19. Tolokonnikova Z.A. *Paleontologiya Kuzbassa. Famenskies mshanki zapadnoi chasti Altae-Sayanskoi sklachatoi oblasti* [Paleontology of Kuzbass. Famennian bryozoans from the western part of Altai-Sayani Region]. Novokuznetsk, KuzSPA Publ. (Proc. of the SRL «Paleontology and paleogeography»), 2008, no. 2, 125 p. (In Russian).
  20. Esin D., Ginter M., Ivanov Al. et al. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenb.*, 2000, no. 223, pp. 341–359.
  21. Lukševičs E. Stratigraphical occurrence of vertebrate remains in the Upper Devonian of Severnaya Zemlya (Russia). *Acta Geol. Pol.*, 1999, vol. 49, no. 2, pp. 125–131.
  22. Lukševičs E. Bothriolepid antiarchs (Vertebrata, Placodermi) from the Devonian of the north-western part of the East European platform. *Geodiversitas*, 2001, vol. 23, no. 4, pp. 489–609.
  23. Mark-Kurik E. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenb.*, 2000, no. 223, pp. 309–324.
  24. Mark-Kurik E., Pöldvere A. Devonian stratigraphy in Estonia: current state and problems. *Estonian J. Earth Sci.*, 2012, vol. 61, no. 1, pp. 33–47.
  25. Moloshnikov S.V. Devonian antiarchs (Pisces, Antiarchi) from Central and Southern European Russia. *Paleontol. J.*, 2008, vol. 42, no. 7, pp. 691–773.
  26. Moloshnikov S.V. Middle–Late Devonian Placoderms (Pisces: Antiarchi) from Central and Northern Asia. *Paleontol. J.*, 2012, vol. 46, no. 10, pp. 1097–1196.
  27. Panteleyev N. New remigolepids and high armoured antiarchs of Kirgizia. Fossil fishes as living animals. *Proc. of the II Intern. Colloquium on the Middle Palaeozoic Fishes*, Tallinn, Academia I Publ., 1992, pp. 185–191.
  28. Young G.C. An asterolepidoid antiarch (placoderm fish) from the Early Devonian of the Georgina Basin, central Australia. *Alcheringa*, 1984, vol. 8, pp. 65–80.
  29. Zhang G.-R., Young G.C. A new antiarch (placoderm fish) from the Early Devonian of South China. *Alcheringa*, 1992, vol. 16, pp. 219–240.
  30. Zhao W.-J., Zhu M. Siluro-Devonian vertebrate biostratigraphy and biogeography of China. *Palaeoworld*, 2010, no 19, pp. 4–26.
  31. Zhu M., Wang N.-Zh., Wang J.-Q. Devonian macro- and microvertebrate assemblages of China. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg.*, 2000, no. 223, pp. 361–372.

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ  
MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

УДК 553.5:549 (470.42)

ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЮВЕЛИРНО-ПОДЕЛОЧНЫХ  
СЕПТАРИЙ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: p-d-a@mail.ru.*

Септарии Ульяновской области — высококачественный ювелирно-поделочный материал. Они связаны с отложениями нижнего мела и добываются в береговых обрывах и зоне пляжа р. Волга. Септарии состоят преимущественно из кальцита (89 мас. %). В небольшом количестве присутствуют алюмосиликаты, кварц, пирит, гематит, органическое вещество. В прожилках кальцита электронно-микроскопическими исследованиями установлены микровключения графита, золота, слоистых алюмосиликатов, вернадита, магнетита и бактерии, импрегнированные оксидами железа. Кальцитовые прожилки септарий имеют широкий диапазон жёлто-оранжевых цветовых оттенков и текстур. На окраску кальцита оказывает влияние примеси Fe и Mn. Содержания радиоактивных и канцерогенных элементов близко к фоновым.

Ключевые слова: ювелирно-поделочные материалы; септарии; кальцит; нижнемеловые отложения; Ульяновская область.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-21-27

GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS OF JEWELRY-ORNAMENTAL SEPTARIA  
OF THE ULYANOVSK REGION

*D.A. PETROCHENKOV*

*Russian state geological prospecting university  
23, Miklukho-Maklay's str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: p-d-a@mail.ru*

Septaria of the Ulyanovsk region are high-quality jewelry and ornamental material. Septaria are associated with lower Cretaceous sediments and are located in the coastal cliffs and the beach area of the Volga river. Septaria consist mainly of calcite — 89 wt. %. Aluminosilicates, quartz, pyrite, ferric oxide, organic matter are present in small amounts. In the streaks of calcite the presence of the microinclusions of graphite, gold, layered aluminosilicates, vernadite, magnetite, and bacteria impregnated with iron oxide, has been established by electron microscopic analysis. Calcite streaks of the septaria have a wide range of colors and textures. The color of calcite is influenced by the admixture of Fe and Mn. The contents of radioactive and carcinogenic elements are close to the background.

Keywords: jewelry and ornamental material; septaria; calcite; lower Cretaceous sediments; Ulyanovsk region.

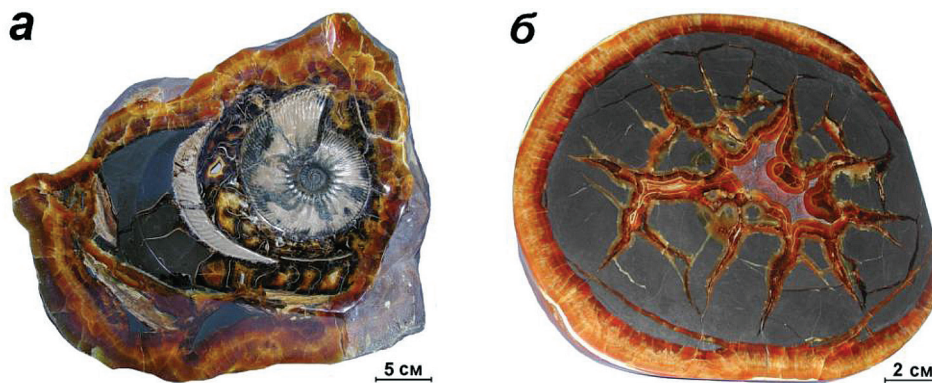


Рис. 1. Септарии, содержащие аммонит (а) и радиально-концентрические прожилки кальцита (б)

Септарии известково-глинистые конкреции с трещинами высыхания (уплотнения), выполненные кальцитом [4]. Септарии в последние десятилетия широко используются для изготовления разнообразной сувенирной продукции, а также в ювелирных изделиях [2]. Привлекательность изделий из септарий обусловлена разнообразием рисунков и широкой цветовой гаммой прожилок кальцита, а также хорошими технологическими характеристиками. Часто в септариях присутствуют различные виды палеофауны, повышающие коммерческую стоимость септарий (рис. 1, а). Септарии ювелирно-поделочного качества известны в Республиках Дагестан [7], Адыгея и в Ульяновской области [6]. В статье впервые детально охарактеризованы геммологические характеристики, минеральный и химический составы септарий Ульяновской области.

#### Методы исследования

Комплекс исследований аммонитов ювелирно-поделочного качества проведён на кафедре минералогии и геммологии МГРИ, в ФГБУ «ВИМС», ИГЕМ РАН. Он включал определение микротвёрдости, плотности, люминесцентных свойств, минерального и химического составов, электронно-зондовые, оптико-петрографические, электронно-микроскопические исследования.

Количественное определение химического состава септарий выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минералогический анализы выполнены с использованием микроскопа «Полам Р-112». Микротвёрдость измерена на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой 50 г, выдержкой 15 с. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучена под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с  $\lambda$  254 и 365 нм. Минеральный состав установлен рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на установке «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондо-

вые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии. Электронно-микроскопические исследования проведены на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) «Tesla BS-540». Минеральные фазы диагностировались методом микродифракции (МДК).

#### Результаты исследований

Септарии встречаются в отложениях верхнего готерива и апта и распределены относительно равномерно [1, 3]. Септарии, представляющие ювелирно-поделочный интерес, составляют до 50 % общего числа конкреций, а с высокой декоративностью — несколько процентов. При размыве глинистых отложений происходит концентрация септарий в зоне пляжа, где их и собирают. Ежегодные объёмы септарий, поступающих в зону пляжа, несколько десятков тонн, что позволяет обеспечить работу крупного камнеперерабатывающего предприятия.

Септарии имеют округлую или овальную форму. Их размер может изменяться от нескольких сантиметров до 1,5 м. Ширина кальцитовых прожилок в септарии колеблется от нескольких миллиметров до 10 см и более. Рисунок прожилок очень разнообразен и обладает высокой декоративностью. Характерной чертой кальцитовых прожилок является их симметричное строение и чёткие ровные контакты с мергелем. В центральной части крупных жил часто образуются жеоды (рис. 1, б).

По данным РКФА септарии состоят (мас. %): кальцит 89, кварц 5,5, иллит 2, плагиоклаз 3; присутствуют пирит, гематит, гранат, глауконит, каолинит, рентгеноаморфная фаза (РАФ). Кальцитовые прожилки преимущественно мономинеральные. В отдельных образцах присутствуют пирит, а также следы доломита и РАФ, связанной с органическим веществом. Из элементов-примесей с содержанием более 0,01 мас. % фиксируется только

Таблица 1

Содержание элементов-примесей в септарии по данным РФА

Номер образца	Содержание элемента, мг/кг ( $n \cdot 10^{-4}$ мас. %)															
	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	U	Th	Y	Nb	Pb	As
Ус-5	16	11	<10	19	<10	13	22	515	16	68	<5	<5	7	6	<10	<10

Sr 0,0525. Содержания Cr, V, Ni, Zn, Rb, Zr и Ba не превышают 0,007 мас. %. Отметим низкие, близкие к фоновым, содержания радиоактивных U, Th и канцерогенных Pb, As элементов (табл. 1).

Кальцитовые прожилки имеют широкий диапазон цветовых оттенков и текстур (рис. 2). Наиболее часто встречаются сочетания оранжевого, желтовато-оранжевого, жёлтого, красновато-оранжевого цветов различной насыщенности. Иногда наблюдаются зеленоватые оттенки. Переходы цветовых зон могут быть как постепенные, так и контрастные. Кальцитовые прожилки полупрозрачные, что создает объёмное восприятие рисунка камня.

Следующим по распространенности цветом является коричневый, различных оттенков и насыщенности. Зоны такой окраски, как правило, расположены в зальбандах прожилков и имеют чёткие границы со светлоокрашенным кальцитом. Зоны коричневой окраски менее прозрачные. Тёмноокрашенные участки непрозрачные или просвечивают в тонких слоях (рис. 2, а, б).

Характерны непрозрачные белые, желтовато-белые прожилки шириной от 1 до 5 мм. Они могут занимать как центральное, так и периферийное положение. В последнем случае они, как правило, следуют за коричнево-окрашенными зонами или образуют с ними последовательное чередование (рис. 2, а). Непрозрачный кальцит белого цвета может выполнять прожилки септарий полностью. Часто он сочетается с бесцветным прозрачным кальцитом и мергелем светло-серого цвета.

Для кальцитовых прожилков септарий в первую очередь типична полосчатая текстура, образованная чередованием разноокрашенных слоёв. Другие виды текстур наблюдаются в отдельных участ-

ках прожилков. Из них можно выделить массивную, сферолитовую и блочно-мозаичную (рис. 2).

Кальцитовые прожилки плотные, разламываются с трудом. Излом раковистый, плотность светло-жёлтых полупрозрачных слоёв составляет 2,65–2,7 г/см<sup>3</sup>, для тёмно-коричневых непрозрачных — 2,7–2,75 г/см<sup>3</sup>. Последнее объясняется включениями пирита.

Микротвёрдость кальцита септарий колеблется в диапазоне от 179 до 357 кг/мм<sup>2</sup> и существенно изменяется как для различных зон, так и в пределах одной зоны. Люминесценция зелёного иногда голубого цвета наблюдается при  $\lambda$  254 нм для непрозрачного и просвечивающего кальцита коричневого цвета, а также для желтовато-белых непрозрачных прожилков. При  $\lambda$  365 нм свечение усиливается.

В кальцитовых прожилках часто наблюдаются мелкие кристаллики пирита. Иногда они образуют тонкие 0,1–0,5 мм, в редких случаях до 1–2 мм прожилки, обычно расположенные на границе с мергелем или тёмно- и светлоокрашенных зон кальцита. Пирит имеет изометричную форму в виде кубов или пентагондодекаэдров. Размер кристаллов составляет, как правило, десятые доли миллиметра и в редких случаях достигает 1–2 мм (рис. 2, б). Иногда пирит можно наблюдать в виде рассеянной микрокристаллической (0,01–0,03 мм) вкрапленности. На полированных поверхностях пирит имеет сильный металлический блеск. Плотность пиритовых агрегатов составляет 4,8–5 г/см<sup>3</sup>. Микротвёрдость колеблется в пределах 1180–1250 кг/мм<sup>2</sup>.

Мергель септарий плотный, разламывается с трудом, излом раковистый. Цвет обычно от тёмно-серого до чёрного, иногда светло-серый (рис. 1, 2, б). Плотность мергеля 2,5–2,6 г/см<sup>3</sup>. Микротвёр-

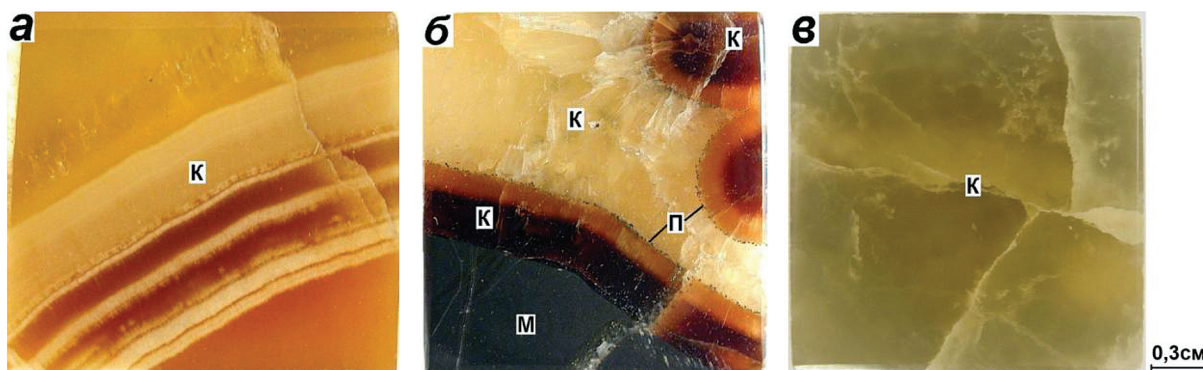


Рис. 2. Характерные текстуры септарий. а — полосчатая; б — сочетание сферолитовой, полосчатой и массивной; в — блочно-мозаичная. К — кальцит, М — мергель, П — пирит

дость — колеблется от 148 до 174 кг/мм<sup>2</sup>, в среднем 157 кг/мм<sup>2</sup>. Мергель не люминесцирует. Наблюдается зелёное свечение кальцита, выполняющего трещины. Септарии хорошо полируются до стеклянного блеска с ровной поверхностью.

Изучение прозрачных шлифов и электронно-зондовые исследования позволили выявить типичные структурные особенности текстурных и цветовых разновидностей септарий. Небольшие прожилки состоят из двух симметричных по размеру и строению слоёв удлинённых призматических кристаллов. Размер кристаллов колеблется от 0,1 до 0,5 мм по длинной оси, ориентированных перпендикулярно стенке прожилка. Кристаллы имеют неровную поверхность срастания и разноориентированы. Контакт с мергелем ровный, чёткий (рис. 3, а).

Более крупные прожилки септарий выполнены серией кальцитовых слоёв (рис. 2, а). Слои имеют различную окраску и степень прозрачности и хорошо проявлены в шлифе (рис. 3, б–г). К мергелю примыкает с ровным, чётким контактом просвечивающий кальцитовый слой (1) коричневого цвета (рис. 3, б). Слой, шириной около 2 мм, сложен слабоудлинёнными кристаллами сложной формы, размером по длинной оси 0,05–0,1 мм, образующими сноповидные агрегаты с волнистым угасанием. Следующий слой (2) тёмно-коричневого просвечивающего кальцита, шириной около 2 мм, сложен удлинёнными, близкой к призматической форме кристаллами, образующими веерообразные

срастания (рис. 3, в). Для кристаллов характерен одинаковый угол угасания, что указывает на их близкую ориентировку. Далее следует слой (3) непрозрачного желтовато-белого кальцита, шириной около 0,5 мм, с мелкозубчатой, волнистой линией контакта. Слой сложен более мелкими разноориентированными кристаллами с волнистым угасанием (рис. 3, в). Аналогичную структуру имеют и последующие слои 4 и 8.

Желтовато-белые непрозрачные слои (9 и 11) шириной около 0,5 и 0,3 мм с мелкозубчатыми и волнистыми линиями контакта образованы мелкими (0,05–0,1 мм), удлинёнными, разноориентированными кристаллами, образующими ветвеобразные агрегаты. Тонкий прожилок (0,15 мм) желтовато-коричневого просвечивающего кальцита (10) образован более крупными близкоориентированными кристаллами (рис. 3, г). Завершает разрез полупрозрачный желтовато-коричневый слой (12), сложенный призматическими, относительно крупными до 0,3×0,8 мм, параллельно сросшимися кристаллами близкой ориентировки. Характерно образование полисинтетических двойников, размер которых возрастает до 1,5–2 мм.

Мергель имеет полиминеральный состав и пелитовую структуру (рис. 3, а). Отметим присутствие в нём раковин фос依лий, образованных арагонитом (рис. 4, в). Для мергеля типичны равномерно распределённые мелкие (0,01–0,1 мм) кристаллики новообразованного пирита, включения орга-

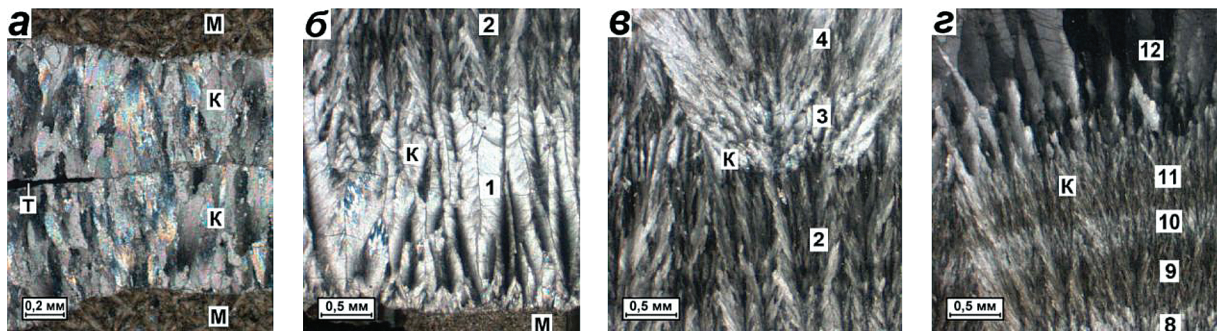


Рис. 3. Прозрачные шлифы: а — небольшого кальцитового прожилка с симметричным строением слоёв; б–г — фрагменты крупного прожилка с различной структурой слоёв кальцита. С анализатором, К — кальцит, М — мергель, 1–12 — порядковые номера кальцитового слоя

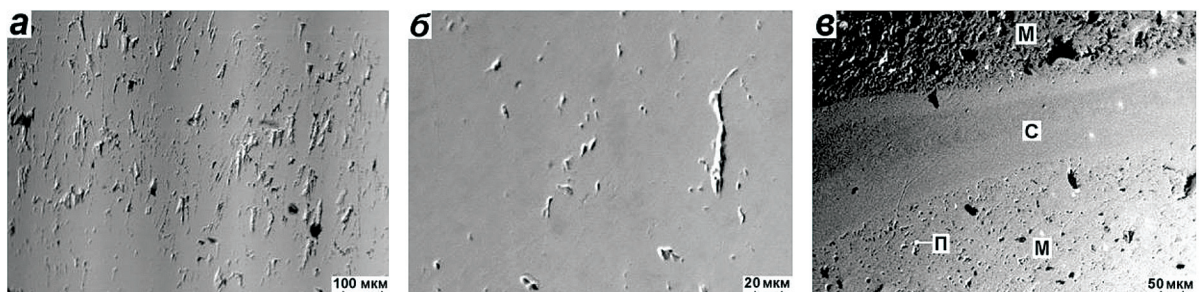


Рис. 4. Слои желтовато-белого непрозрачного (а), желтовато-коричневого полупрозрачного (б) кальцита, мергель (М) и стенки раковины фос依лий (С) (в) в септарии. Микронзонд, ОРЭ, П — пирит



нического вещества и микротрещинки, выполненные тонкодисперсным кальцитом.

В ОРЭ структура кальцитовых слоёв не проявлена. Разноокрашенные слои имеют близкую светло-серую окраску и отличаются числом пор. Поры вытянутой линейной формы, ориентированы перпендикулярно стенке кальцитового прожилка. Непрозрачные слои содержат значительно больше число пор, чем полупрозрачные (рис. 4, *a*, *б*). В ОРЭ отчётливо проявлена пелитовая структура мергеля с большим числом мелких пор, редкими включениями пирита размером 5–10 мкм (рис. 4, *в*). Стенка раковины форосиллий (рис. 4, *г*) характеризуется высокими содержаниями Sr (0,3 мас. %). По этому показателю она может быть отнесена по составу к арагониту.

По данным РСМА в кальците, выполняющем прожилки септарий, из элементов-примесей фиксируются Mg, Mn, Fe (табл. 2). Содержания элементов в отдельных спектрах колеблются в широком диапазоне. По средним значениям можно отметить следующие закономерности. В слоях кальцита коричневой окраски фиксируются относительно низкие содержания, мас. %, Mn 0,15–0,52 и Fe 0,11–0,23. В слоях кальцита жёлтой окраски

возрастают содержания элементов, мас. %: Mn 0,51–0,91 и Fe 1,12–1,81. Кальцит белой окраски характеризуется ещё более высокими содержаниями, мас. %: Mn 1,19 и Fe 2,14. Концентрации Mg в различно окрашенном кальците близки.

Изучение образцов на просвечивающем электронном микроскопе показало, что основная матрица построена из разноразмерных, плотно уложенных один по отношению к другому блоков. При этом кристаллографическая ориентировка их в целом не совпадает (рис. 5, 6, *a*). Такое строение типично при раскристаллизации геля с многочисленными разориентированными в пространстве центрами кристаллизации. В участках с мелкоблочным строением матрицы довольно часто присутствуют слоистые алюмосиликаты размером до 20 мкм (рис. 5, *a*). Из микровключений были выявлены также пластинчатые выделения золота (3×8 и 2×3 мкм), расположенные на границе разноразмерных блоков (рис. 5, *б*) и тонкодисперсные частицы графита размером до 7 мкм (рис. 6, *a*). На другом участке выделена частица графита изометричной формы размером 4 мкм (рис. 6, *a*). Для перечисленных выделений характерны участки блоков, не подвергавшихся вторичному воздействию. Следовательно,

Таблица 2

Химический состав кальцита в прожилках септарий по данным РСМА

Характеристика кальцита	Содержание элемента, мас. %				
	Mg	Mn	Fe	Ca	O
Тёмно-коричневый, непрозрачный (44)	<u>1,21–2,41</u> 1,61	<u>0,00–0,43</u> 0,15	<u>0,00–0,32</u> 0,12	<u>34,27–37,32</u> 36,11	<u>14,85–16,12</u> 15,86
Коричневый, просвечивающий (12)	<u>1,32–1,64</u> 1,44	<u>0,21–0,82</u> 0,52	<u>0,12–0,34</u> 0,23	<u>34,92–35,44</u> 35,24	<u>14,12–16,10</u> 15,73
Светло-коричневый, просвечивающий (9)	<u>1,12–1,89</u> 1,61	<u>0,11–0,32</u> 0,24	<u>0,00–0,21</u> 0,11	<u>35,82–36,64</u> 35,95	<u>14,64–15,58</u> 15,07
Жёлтый, полупрозрачный (27)	<u>0,89–1,63</u> 1,22	<u>0,36–1,71</u> 0,91	<u>0,51–2,62</u> 1,12	<u>33,61–36,85</u> 35,91	<u>14,95–15,87</u> 15,64
Светло-жёлтый, просвечивающий (14)	<u>0,82–1,63</u> 1,05	<u>0,41–0,73</u> 0,51	<u>1,72–2,04</u> 1,81	<u>34,12–36,12</u> 35,62	<u>14,64–15,89</u> 15,35
Белый непрозрачный (29)	<u>0,85–1,52</u> 1,29	<u>0,46–1,51</u> 1,19	<u>0,58–3,62</u> 2,14	<u>33,61–36,05</u> 34,06	<u>14,12–15,31</u> 14,98

Примечание. Над чертой максимальное и минимальное содержания, под чертой — среднее; в скобках — число спектров.

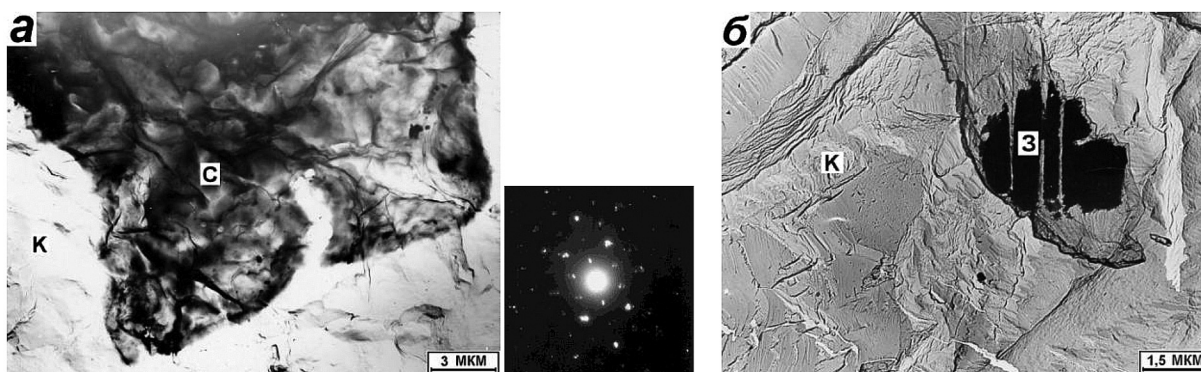


Рис. 5. Матрица кальцита (К), построенная разноразмерными плотно уложенными блоками с микровключениями слоистых алюмосиликатов (С) и их МДК (а); включение золота (З) (б). ПЭМ

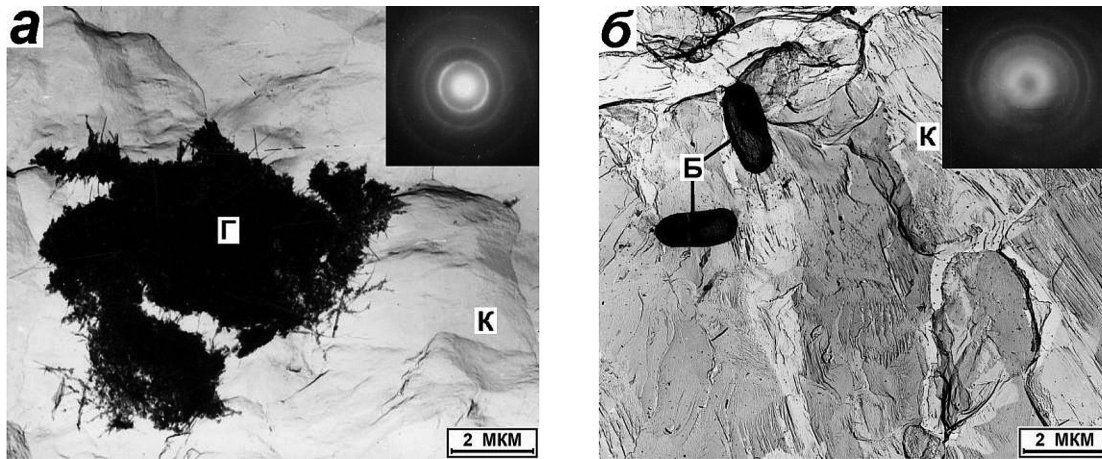


Рис. 6. Тонкодисперсные частицы графита (Г), их МДК (а); бактерии (Б), импрегнированные оксидом железа, их МДК (б) в матрице кальцита (К). ПЭМ

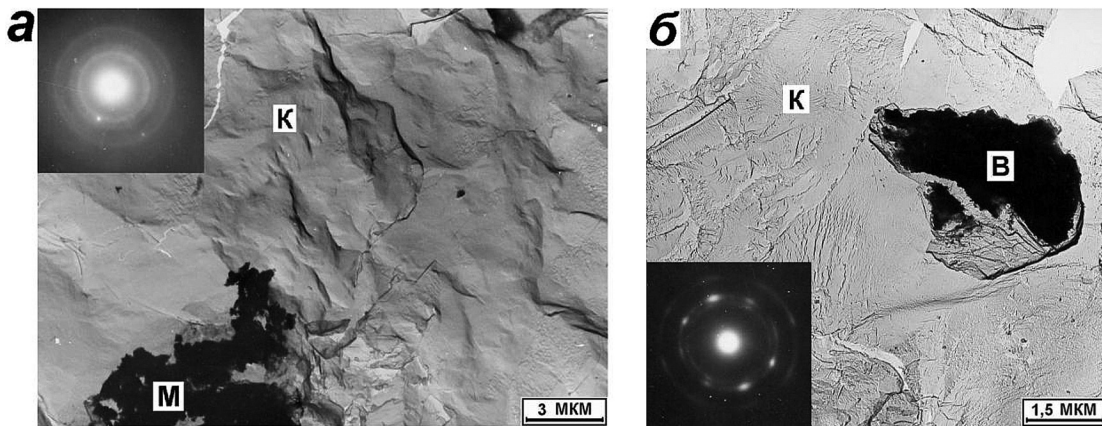


Рис. 7. Частицы магнетита (М), их МДК (а); выделение частиц вернадита (В), их МДК (б) в матрице кальцита (К), ПЭМ

можно предположить, что частицы золота, графита и слоистых алюмосиликатов захвачены гелем изначально.

На участках с неплотной укладкой блоков, с развитием пор, трещинок наблюдаются бактерии, импрегнированные оксидом железа (рис. 6, б). Здесь происходило выщелачивание поверхностного слоя, что могло приводить к появлению новых микрофаз включений. Так, на шероховатой поверхности матрицы кальцита наблюдаются выделения магнетита до 6 мкм с неровными краями (рис. 7, а) и вернадита размером 3×4 мкм (рис. 7, б). При увеличении трещиноватости выделения вернадита становятся значительными. Таким образом, для кальцита септарий характерно однородное строение и небольшое число фаз микропримесей, что существенно отличает его от кальцита в аммонитах [5].

### Выводы

Септарии преимущественно состоят из кальцита (89 мас. %). В небольшом количестве присутствуют алюмосиликаты, кварц, пирит, гематит,

органическое вещество. Кальцитовые прожилки септарий обладают широким диапазоном цветовых оттенков текстур. Рост кристаллов кальцита в прожилках происходил из многочисленных центров кристаллизации на стенках трещин и шёл поэтапно, формируя слои различных окрасок и структур. В кальците, не подвергавшемся вторичному воздействию, установлены микрочастицы золота, графита и слоистых алюмосиликатов, захваченных гелем изначально. На участках кальцита с развитием пор и трещинок выявлены новообразованные микровключения вернадита, магнетита, а также бактерии, импрегнированные оксидом железа. Прозрачность кальцитовых прожилков определяется преимущественно размером и разориентированностью кристаллов, числом пор. На окраску кальцита оказывает влияние содержание Fe и Mn. По технологическим и декоративным характеристикам септарии Ульяновской области являются высококачественным ювелирно-поделочным сырьём конкурентным как на российском, так и мировом рынках. Большие объёмы септарий и доступность их добычи позволяют обеспечить работу камнеперерабатывающего предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабошкин Е.Ю. Палеогеография Восточно-Европейской платформы и ее южного обрамления в раннем мелу // Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». Вып. 1. М.: Геокарт. GEOS, 2005. С. 201–232.
2. Буканов В.В. Цветные камни. Геммологический словарь. СПб., 2001. 416 с.
3. Геология СССР. Поволжье и Прикамье. Т. XI. Ч. 1. Геологическое описание / Под ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1967. 872 с.
4. Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Струве Э.А. Петрографический словарь. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 447 с.
5. Петроченков Д.А., Натариус А.М. Готеривские аммониты Ульяновской области, как поделочно-ювелирный материал // Вестник геммологии. 2005. №1 (12). С. 23–28.
6. Петроченков Д.А. Камнесамоцветное сырьё Ульяновской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 319–323.
7. Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю., Быстров И.Г. Ювелирно-поделочные септарии Республики Дагестан // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 1. С. 79–87.

REFERENCES

1. Baraboshkin E.Yu. Palaeogeography of the East European Platform and its southern framework in the Early Cretaceous. *A series of analytical reviews «Essays on regional geology of Russia»*. vol. 1, Moscow, Geokart, GEOS Publ., 2005, pp. 201–232. (In Russian).
2. Bukanov V.V. *Colored stones. Gemological dictionary*. Saint Petersburg, 2001, 416 p. (In Russian).
3. *Geology of the USSR. The Volga region and the Kama region. Geological Description*. vol. XI, no. 1, 1967. Edited by Sidorenko A.V. Moscow, Nedra, 872 p. (In Russian).
4. Levinson-Lessing F.Yu., Struve E.A. *Petrographic Dictionary*. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1963, 447 p. (In Russian).
5. Petrochenkov D.A., Natarius A.M. Hauterivian ammonites of the Ulyanovsk region, as jobbing-jewel material. *Gemological Bulletin*, 2005, no. 1 (12), pp. 23–28.
6. Petrochenkov D.A. Colored-stone raw materials from Ulyanovsk region. *Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)*, 2006, vol. 5, pp. 319–323. (In Russian).
7. Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu., Bystrov I.G. Jewellery-ornamental septaries, of the Republic of Dagestan. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 79–87. (In Russian).

УДК 552.54:552.55:629.55

## ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ОСАДОЧНОГО ПОРОДООБРАЗОВАНИЯ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ПОВЕРХНОСТИ

В.Г. КУЗНЕЦОВ

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина  
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия  
e-mail: vgkuz@yandex.ru

Рассмотрено распределение в геологическом разрезе двух групп осадочных пород — кремнистых и карбонатных разного состава. Учитывая своеобразные условия формирования различных по вещественному составу пород, реконструированы кислотно-щелочные обстановки внешних геосфер. Показано, что в архее это были кислые среды, в протерозое — щелочные и в фанерозое — слабощелочные. При этом в архее поверхностное выветривание было чисто химическим, добиоженным, что и определило интенсивный вынос железа и кремнезёма из основных магматических пород, покрывавших поверхность ранней Земли. Появление цианобактериальных фотосинтезирующих сообществ, утилизация углекислого газа, привели к смене обстановки на щелочную, что определило накопление магнезитов и доломитов. Разнообразная биота фанерозоя обусловила становление близких к современным значениям величин рН среды. Параллельно с развитием жизни менялись механизмы и формы осаждения карбонатного и кремнистого материала.

Ключевые слова: эволюция; карбонатные и кремнистые породы; геохимическая обстановка; геологическая история.

## SIGNIFICANCE OF THE STUDY OF SEDIMENTAL ROCK-FORMING EVOLUTION IN THE EARTH HISTORY FOR THE RECONSTRUCTION OF THE CHANGES OF GEOCHEMICAL SETTINGS ON ITS SURFACE

V.G. KUZNETSOV

*Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)  
building 1, 65, Leninsky prosp., Moscow 119991, Russia  
e-mail: vgkuz@yandex.ru*

The distribution in the geological section of two groups of sedimentary rocks, siliceous and carbonate rocks of different composition — has been examined. Acid-base conditions of external geospheres have been reconstructed in consideration of the peculiar conditions of the formation of rocks of different material composition. The acidic environments have been shown to be such conditions in the Archean period, the alkaline environments — in the Proterozoic, and slightly alkaline — in the Phanerozoic. At the same time, in the Archean the weathering was purely chemical, prebiogenic, which determined the intense removal of iron and silica from the basic igneous rocks that covered the surface of the early Earth. The emergence of cyanobacterial photosynthesizing communities, utilization of carbon dioxide led to the change to alkaline environment, which determined the accumulation of magnesites and dolomites. The diverse biota of the Phanerozoic caused the formation of pH values close to modern. The mechanisms and forms of the deposition of carbonate and siliceous materials changed alongside with the evolution of life.

**Key words:** evolution; carbonate and siliceous rocks; geochemical environment; geological history.

Литология, как наука об осадочных горных породах и осадочных комплексах, их составе, строении, закономерностях пространственного и геохронологического распространения, происхождении, стала развиваться в качестве самостоятельной с начала 20-х гг. XX в. в форме петрографии осадочных пород, т. е. изучения конкретных пород и условий их образования, а с конца 40-х гг. — как литология, т. е. наука, изучающая и устанавливающая общие законы образования и распространения осадочных пород и их комплексов.

К 70-м гг. XX в. сложились чёткие представления о двух, как выразился Н.Б. Вассоевич, научных подходах (разделах) — фациально-седиментологическом (седиментогенетическом) и стадийно-литогенетическом. Первый направлен на выяснение первичных свойств осадка и условий его формирования; второй имеет своей целью познать вторичные свойства породы, являющиеся следствием её преобразования [3].

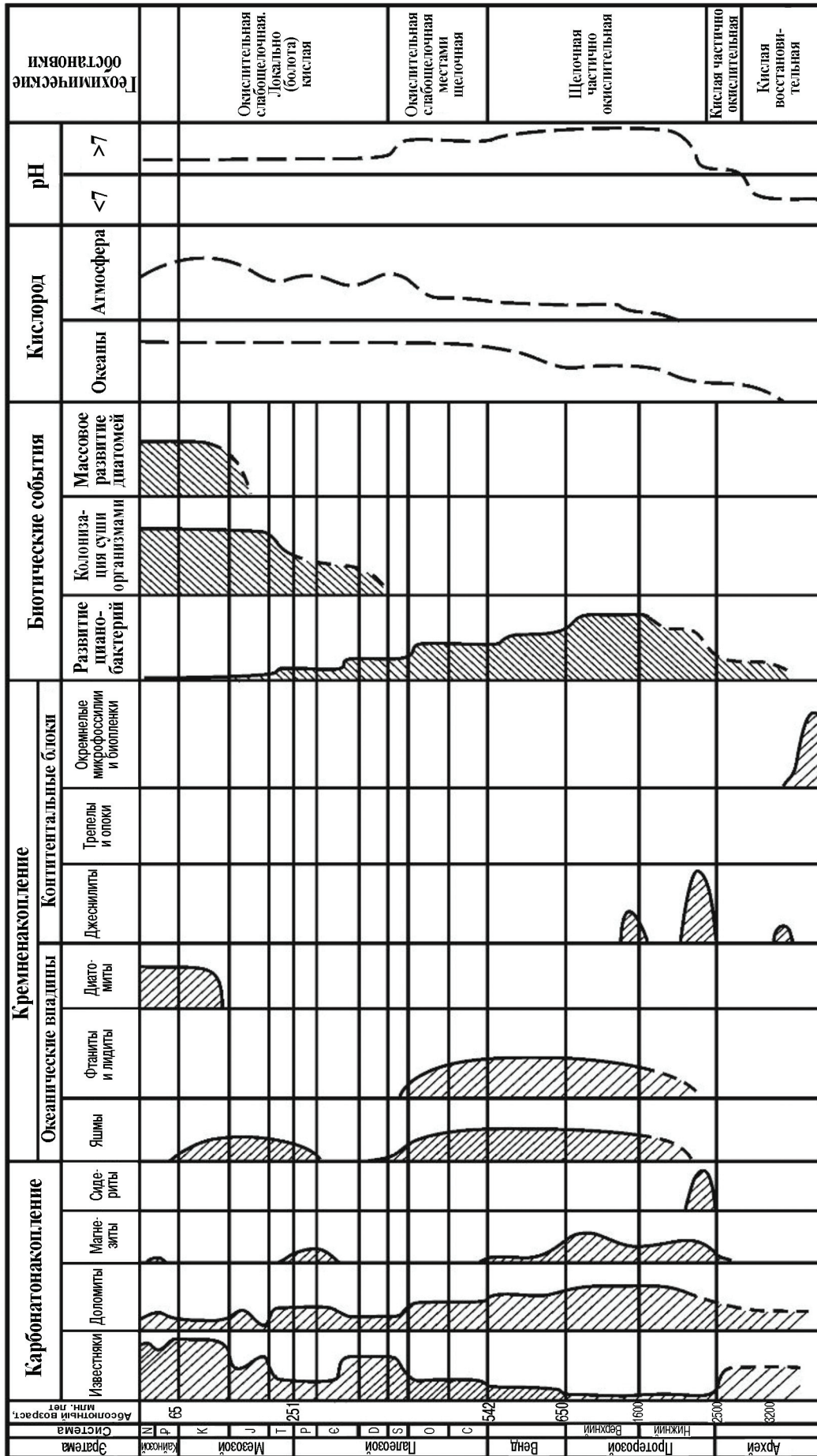
Интересно, однако, отметить, что факт изменения характера осадочных пород в геологической истории был установлен задолго до самого оформления учения об осадочных породах как самостоятельной науки. Еще в 1909 г. Р. Дэли показал, что в истории Земли происходило последовательное изменение состава карбонатных пород — образование доломитов последовательно сменялось формированием известняков, т. е. по сути дела на конкретном примере выявил факт эволюции осадочного породообразования [23].

Идеи об эволюции осадочного породообразования высказывались еще в 40-х гг. прошлого века. Так, Л.В. Пустовалов отмечал, что «... только лишь в том случае, если мы учитываем историческую обстановку осадкообразования, мы можем рассчиты-

вать достигнуть правильных и надёжных результатов. Формальное же сопоставление неминуемо должно привести к грубым ошибкам» [13, с. 371]. В середине XX в. ряд работ по этой тематике опубликовал Н.М. Страхов [17, 18].

Вместе с тем проблема эволюции осадочного процесса и осадочного породообразования, как особая, начала формироваться в рамках общей проблемы эволюции геологических процессов в истории Земли, поставленной академиком А.Л. Яншиным в последней четверти XX в. [20]. Были опубликованы сотни статей по эволюции состава, строения и условий образования отдельных типов осадочных пород, изданы тематические сборники, отдельные монографии. В итоге эволюционное направление сложилось — наряду с седиментологическим и стадийным — в отдельный раздел. При этом оно не только стало самостоятельным разделом со своими задачами, методами исследования, достижениями, но и, если можно так выразиться, вошло в первые два «классических» раздела, углубив, детализировав и развив ряд известных ранее положений.

В настоящем сообщении рассмотрен лишь один аспект эволюционного направления: как изучение распределения в осадочном разрезе двух групп осадочных пород — карбонатных и кремнистых, позволяет решать проблемы значительно более широкого плана, например, таких как эволюция конкретных групп пород, позволяет реконструировать изменения геохимических обстановок внешних геосфер, раскрывает эволюцию самого процесса осадочного породообразования и др. (рисунок). Подробные фактические данные по распределению этих отложений в определённой мере изложены в [7–10].



Стратиграфическое распределение карбонатных и кремнистых пород, основные биотические события и эволюция геохимических обстановок в истории Земли

Как было сказано, первые сведения по этому вопросу на примере карбонатных пород были получены и изложены уже в начале 20 в. В третьей четверти этого столетия после работ А.Б. Ронова [16] данные выводы, по крайней мере для неогена, получили достаточно достоверную количественную характеристику. Что касается более ранних интервалов геологической истории, то такие данные имеют скорее качественный характер, особенно для архейского этапа. Сейчас это мрамора, кальцифиры и другие глубоко метаморфизованные породы, но, как показал в ряде реконструкций О.М. Розен, в архее преобладали все же кальциевые в своей основе карбонаты [14, 15].

На границе архея и протерозоя среди карбонатных пород в значительных количествах появляется относительно редкая разновидность — сидерит (и сидероплезит) как важный элемент полосчатых железных руд — железистых кварцитов, или джеспилитов. Высказывается даже мнение, что первоначально все эти руды были сидеритовыми, а их современная минералогия — это результат вторичных преобразований [1]. В современной международной геохронологической шкале этот период под названием сидерий выделяется в интервале 2300—2500 млн. лет. Имеются, однако, интересные и достаточно обоснованные представления о переносе его в кровлю архея и датировке временным интервалом 2630—2420 млн. лет [11]. Преобладающими же карбонатными породами в протерозое были магнезиальные карбонатные породы — доломиты и в меньшей степени, но что специфично и важно — магнезиты. В фанерозое происходило последовательное сокращение масштабов доломитообразования, которое сменялось накоплением известняков. Некоторая незначительная по масштабу аномалия приходится на пермский период, когда несколько увеличивается образование доломитов и вновь появляются магнезиты.

Распределение в разрезе разных типов кремнистых пород чётко разделяется на две линии — ветви, локализованные на двух разных геотектонических структурах. В пределах континентального блока кремнистые осадочные образования отмечены в конце эоархея, в частности, в кремнистой формации Исуа Гренландии возрастом 3,83 млрд. лет, в которой установлены бактериоморфные образования, биогенная природа которых иногда подвергается сомнению. Кремнистые толщи с достоверными остатками бактериальных форм, которые не вызывают сомнений, в том числе первые кремнистые строматолиты, установлены в породах серии Онвервайт пояса Барбетон Южной Африки и Варравуна кратона Пилбара в Австралии, возраст которых составляет 3,5—3,3 млрд. лет [24, 33].

В архее имеется несколько горизонтов кремнистых пород в формациях железистых кварцитов, но наибольшее развитие этого типа отложений при-

ходится на интервал основания протерозоя — сидерий. Отдельные, неизмеримо меньшие по масштабам проявления подобных джеспилитов имеются и на других уровнях протерозоя.

В палеозое и мезозое собственно кремнистых толщ в пределах платформ не установлено, известны лишь обогащённые кремнезёмом битуминозно-глинисто-карбонатные толщи типа доманика на Восточно-Европейской платформе или баженовского горизонта в Западной Сибири.

Мощный взрыв кремненакопления отмечается в меловом периоде, который продолжился в кайнозое и обусловил формирование опоковой формации.

Несколько иная картина распределения кремнистых толщ в океаническом секторе. Со второй половины протерозоя и до палеогена с перерывом в карбоне шло формирование яшм. Со второй половины протерозоя практически до начала девона происходило накопление в той или иной степени обогащённых органическим веществом кремнистых сланцев — лидитов и фтанитов. В фанерозое формировались радиоляриты. В мелу и кайнозое появились диатомиты — своеобразный аналог опок континентального блока, в результате чего относительная доля радиоляритов сократилась.

Анализ подобного стратиграфического распределения карбонатных пород разного состава и кремнистых разного типа позволяет сделать некоторые выводы о геохимических условиях и их изменениях в течение геологической истории нашей планеты.

Появление свободного кислорода и соответственно окислительной обстановки определялось обычно по возникновению минералов с высокой степенью окисления, входящих в их состав поливалентных элементов. Другими словами, это проблема в значительной степени геохимическая, поскольку изучается поведение элементов, в том числе, поведение изотопов в ряде случаев. Данный вопрос, т. е. появление свободного кислорода и становление окислительной обстановки, недавно подробно рассмотрен А.В. Масловым и В.Н. Подковыровым [12], поэтому в данном сообщении обращено внимание на второй важнейший геохимический показатель среды — рН и его изменение во времени. Реконструкция этого показателя решается на уровне горных пород, т. е. в рамках литологии.

В этом отношении особый интерес представляют карбонатные породы, которые образуются в несколько различных кислотно-щелочных условиях.

Для архея и начала протерозоя важную информацию можно получить, изучая специфическую для данного временного интервала формацию — железистые кварциты — banded iron formation (BIF) — точнее же одну их составляющую — сидериты и сидероплезиты, главным образом те джес-

пилиты, которые как раз локализованы в основании протерозоя — в сидерии.

Как было отмечено выше, в архее существовала микробная жизнь, но она была локализована лишь в водоёмах, поскольку отсутствие озонового экрана и соответственно мощное ультрафиолетовое излучение делали невозможным существование наземной биоты. В этих условиях поверхностное субаэральное выветривание было чисто химическим, причем кислым, поскольку первичный вулканизм и поставка в атмосферу «кислых дымов» —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  и других, определило именно кислую геохимическую обстановку.

Небольшое отступление. В научной и особенно учебной литературе процессы выветривания — мобилизации вещества в осадочный процесс — подразделяют на физическое (механическое) и химическое; в последнем случае рисуются схемы разложения алюмосиликатов под воздействием воды и углекислого газа. На самом деле химические процессы выветривания, по сути дела, можно назвать биохимическими, поскольку главным агентом являются органические кислоты, образующиеся при разложении органического вещества. Поэтому, кстати, выветривание в гумидной зоне, где обильна растительность и продукты её разложения в виде органических кислот, процесс идёт по кислому типу и наиболее результативно, а в аридном, при резком дефиците растительности, — по щелочному и неизмеримо менее активно, хотя количество углекислого газа в обоих случаях одинаково.

Возвращаясь непосредственно к теме статьи, следует повторить и акцентировать внимание на том, что поверхностное выветривание в архее было именно химическим, абиогенным и добиогенным. В кислых и одновременно восстановительных условиях из основных магматических пород, составлявших поверхность архейской Земли, переходили в раствор железо и кремнезем. При поступлении подобных растворов в конечные водоёмы стока, кислотность вод снижалась, и соответствующие компоненты в виде кварца и карбонатов железа выпадали в осадок. По-видимому, в этом процессе, особенно в отношении железа, могла играть роль микробная субстанция, поскольку сейчас показано, что минералы железа, в частности, карбонаты, формируются под воздействием ряда специфических бактерий [5, 6, 22, 25—28, 30—32].

Некоторым, может быть косвенным подтверждением массового развития бактерий в это время, является положительный экскурс  $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб.}}$  в отложениях с возрастом 2,3—2,3 млрд. лет, который, предположительно, связан с эпохой крупномасштабного захоронения органического вещества, генерация которого и была обусловлена активной микробной деятельностью [29].

Если это так, то на суше должны оставаться породы, обеднённые кремнеземом, но относительно

обогащённые алюминием. Действительно, в глубоком докембрии широко распространены глубоко-метаморфизованные высокоглиноземистые кристаллические сланцы с минералами группы шпинели, дистеновые и силлиманитовые гнейсы. Более конкретный пример — надсерия Трансвааль в Южной Африке включает железорудную формацию Курумар и глинисто-алюминистые сланцы с диаспором гамахаанской толщи [4].

Не исключено, что само наличие в архее кварцевых песчаников, в том числе так называемых вторичных кварцитов, — это продукты аналогичного, но не столь глубокого, добиогенного, чисто химического выветривания.

Присутствие в водах архейских бассейнов повышенного содержания кремнезема обусловило и образование кремнистых строматолитов, описанных, в частности, в разрезах формаций Хооденег и Кромберг нижнеархейской группы Онвервайт в районе Барбетон Южной Африки, где установлено переслаивание карбонатных и кремнистых образований со строматолитовыми структурами [33]. В обстановках менее кислых водоёмов формировались карбонаты кальция — известняки, ныне глубоко метаморфизованные.

Ситуация кардинально поменялась на границе архея и протерозоя, точнее после сидерия, во время так называемого великого окислительного события (great oxidation event), появления свободного кислорода в интервале 2,45—2,32 млрд. лет [21], и которое было обусловлено взрывным и массовым развитием фотосинтезирующих организмов, прежде всего и главным образом — цианофитов. Последние обусловили интенсивную утилизацию углекислого газа, что и привело к быстрой смене слабокислой среды водоёмов на существенно щелочную. В последних обстановках в большей мере осаждались уже существенно магнезиальные карбонаты — доломиты и даже магнезиты.

Можно полагать, что, как и с наличием свободного кислорода и окислительной обстановкой, кислотно-щелочные условия не везде были одинаковыми; вероятно, разные бассейны, а может быть и отдельные их части, характеризовались различными значениями pH. Не исключено в этой связи, что и само изменение кислотно-щелочных обстановок могло происходить в разных бассейнах не одновременно, было не одномоментно, а несколько раз менялось, что и определило локальное развитие джеспилитов как в сидерии, так и в архее и в меньшей степени в более поздних интервалах протерозоя, равно как и само близкое нахождение в пространстве и в разрезе пород, формирующихся в разных условиях. Таковы, например, кремнистые строматолиты в формации Варравуна в Западной Австралии [24].

Следующий рубеж кардинальных изменений — это граница венд—кембрий, когда вновь возник

шая высокоорганизованная биота вытеснила цианобактериальные сообщества в существенно ограниченные по масштабам и неблагоприятные для жизни, например, по солёности, условия среды. При этом часть вновь сформировавшихся организмов продолжала усвоение  $\text{CO}_2$ , но появились и другие, которые стали активно его производить. Последнее привело к снижению значения рН морских вод, которое быстро стало приближаться к современным значениям, и соответственно накопление магнезиальных карбонатов последовательно сменялось накоплением карбонатов кальциевых — известняков. Другими словами, изучая смену состава карбонатных пород, удаётся реконструировать изменение кислотно-щелочных свойств вод Мирового океана.

Возвращаясь к рассмотрению кремнистой группы пород, интересно обсудить и объяснить появление и исчезновение такой группы, как обогащенных органическим веществом кремнистых сланцев — лидитов и фтанитов, формирование которых приходилось на ранний—средний палеозой и практически закончилось в начале девона [19].

Отмеченный рубеж — это начало колонизации суши, когда количество кислорода в атмосфере обеспечило формирование озонового слоя, а следовательно, кардинальное сокращение ультрафиолетового облучения земной поверхности, и субэральные обстановки стали пригодными для обитания наземных организмов. Подобное глобальное событие вызвало и глобальное перераспределение необходимых для жизни питательных компонентов — нутриентов, что в свою очередь несколько ограничило генерацию и накопление органического вещества в гидросфере и определило перемещение их на континент.

Еще одно существенное изменение в системе кремненакопления, которое в свое время отметил А.Л. Яншин — появление в меловом периоде и последующее массовое развитие опоковой формации. Дело в том, что на меловой период пришлось становление и развитие покрытосеменных растений, которые, в частности, образовали тропические леса с их огромной биологической продуктивностью, в том числе продукцией органических кислот. Последние обусловили интенсивное химическое, точнее биохимическое, выветривание, появление огромных масс растворённого кремнезема и вынос последнего в Мировой океан. В свою очередь это инициировало становление и развитие

организмов с кремневой функцией и прежде всего диатомей. Одновременно глубокое химическое выветривание определило формирование мощных кор выветривания с глубоким, до образования бокситов, разложением исходных пород. Так, по данным Б.А. Богатырева [2], более 80% мировых запасов бокситов приходится на кайнозой.

Таким образом, эволюционное направление литологии не только изучает эволюцию тех или иных конкретных осадочных пород в течение геологической истории, не только восстанавливает историю глобальных изменений геологической среды, но и «внедряется» в «традиционные», исторически давно сложившиеся разделы литологии. В приведённых примерах — это, в частности, процессы образования осадочного материала. При этом данный подход раскрывает и изменение, эволюцию самих *процессов* этого образования.

Следует добавить, что аналогичная ситуация с фашиально-седиментологическим разделом литологии, поскольку установлена эволюция *процессов и механизмов седиментации* осадочного материала. В частности, с течением времени изменились механизмы образования карбонатных пород: в докембрии это были в основном процессы химические, точнее биохимические, что особенно наглядно проявлено на примере образования магнезиальных карбонатов. Утилизация цианофитами углекислого газа создала в водоёмах протерозоя щелочные условия, которые способствовали осаждению именно карбонатов магния. Появление разнообразной и более высокоорганизованной, чем цианофиты, биоты привело к фиксации карбонатов в скелетах организмов, причем преимущественно карбонатов кальция. Подобное чисто биогенное образование известняков тоже эволюционировало: если в палеозое абсолютно преобладало карбонатонакопление за счёт бентосных организмов, то в мезозое и особенно кайнозое оно сменилось накоплением остатков преимущественно планктонных организмов.

Завершая этот краткий обзор, следует указать и подчеркнуть, что практически во всей геологической истории образование осадочных отложений и их эволюция теснейшим образом связана и обусловлена жизнью и эволюцией органического мира.

Автор считает своей приятной обязанностью выразить благодарность рецензентам за конструктивные замечания, учёт которых способствовал улучшению текста статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бергман И.А. Железисто-кремнистый рудогенез раннего докембрия // Минеральное сырье. 2013. № 28. 323 с.
2. Богатырев Б.А. Эволюция бокситообразования в истории Земли // Концептуальные проблемы литологических исследований в России. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2011. Т. 1 С. 129–133.
3. Вассоевич Н.Б. Предисловие // Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир, 1971. С. 5–8.
4. Дэна Дж.Д., Дэна Э.С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондэль К. Система минералогии. Т. 1. Полутом 2. М.: ИЛ, 1951. 420 с.



5. Дубинина Г.А., Сорокина А.Ю. Нейтрофильные литотрофные железобактерии: прокарियोты и их участие в биогеохимических процессах железа // Микробиология. 2014. Т. 83. № 2. С. 127–142.
6. Заварзина Д.Г. Образование магнетита и сидерита термобактериальными железоредущими бактериями // Палеонтологический журнал. 2004. № 6. Стр. 3–8.
7. Кузнецов В.Г. Эволюция карбонатонакопления в истории Земли. М.: GEOS, 2003. 262 с.
8. Кузнецов В.Г. Соотношение стратиграфического распределения магнетитов с развитием цианобактерий // Докл. Академии наук. 2004. Т. 397. № 5. С. 655–659.
9. Кузнецов В.Г. Эволюция кремнеобразования в истории Земли и её соотношение с развитием биоты // Докл. Академии наук. 2011. Т. 441. № 6. С. 775–779.
10. Кузнецов В.Г. Эволюция осадочного породообразования в истории Земли. М.: Научный мир, 2016. 212 с.
11. Маслов А.В., Гражданкин Д.В. Докембрий в шкале геологического времени. Проект-2012 // Литосфера. 2013. № 3. С. 151–155.
12. Маслов А.В., Подковыров В.Н. Редокс-статус океана 2500–500 млн. лет назад: современные представления // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 3. С. 207–230.
13. Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. Т. 1. 476 с.
14. Розен О.М. Наблюдаемые признаки первичных осадков и условия раннего литогенеза в истории Земли // Концептуальные проблемы литологических исследований в России. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2011. Т. 2. С. 173–176.
15. Розен О.М., Аббясов А.А., Злобин В.Л., Сафронов В.Т. Карбонатные породы в метаморфических комплексах: петрогенезис, минеральный состав исходных отложений, условия осадконакопления // Известия вузов. Геология и разведка. 2003. № 1. С. 38–47.
16. Ронов А.Б. Стратисфера, или осадочная оболочка Земли (количественное исследование) М.: Наука, 1993. 144 с.
17. Страхов В.Н. Железородные фации и их аналоги в истории Земли. Опыт историко-геологического анализа процесса осадкообразования. Тр. ИГН АН СССР. Геол. сер. Вып. 73. № 22. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 267 с.
18. Страхов В.Н. О периодичности и необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли // Изв. АН СССР, сер. геол. 1949. № 6. С. 70–111.
19. Хворова И.В. Основные черты эволюции кремнеобразования в фанерозое // Эволюция осадочного процесса в океанах и на континентах. М.: Наука, 1983. С. 111–120.
20. Яншин А.Л. Эволюция геологических процессов в истории Земли. Л.: Наука, 1988. 39 с.
21. Bakker A., Holland H.D., Wang P-L., Stein H.J., Hannah J.L., Coetzee L.L., Beukes N.J. Dating the rise of atmospheric oxygen // Nature. 2004. V. 427. N 8. P. 117–120.
22. Croal L.R., Jiao Y., Newman D.K. Phototrophic Fe (II) oxidation in an atmosphere of H<sub>2</sub>: implications for Archean banded iron formations // Geobiology. 2009. V. 7. N 1. P. 21–24.
23. Daly R. First calcareous fossils and evolution of limestones // Geol. Soc. Amer. Bull. 1909. V. 20. P. 2517–2527.
24. Hoffman H.J., Grey K., Thorpe R.I. Origin of 3.45 Ga coniform stromatolites in the Warrawoona Group, Western Australia // Geol. Soc. Amer. Bull. 1999. V. 111. P. 1256–1262.
25. Kappler A., Newman D.K. Formation of Fe (II) minerals by Fe (II) oxidizing photoautotrophic bacteria // Geochim. Cosmochim. Acta. 2004. V. 68. N 6. P. 1217–1226.
26. Kappler A., Pasquero C., Konhauser K.O., Newman D.K. Deposition of banded iron formations by anoxygenic phototrophic Fe(II)-oxidizing bacteria // Geology. 2005. V. 33. N 11. P. 865–868.
27. Konhauser K., Hamade T., Raiswell R., Morris R.C., Ferris P.C., Southam G., Ganfield D.E. Could bacteria have formed the Precambrian banded iron formations? // Geology. 2002. V. 30. N 12. P. 1079–1082.
28. Li J.L., Konhauser K. O., Cole D.R., Phelps T.J. Mineral ecophysiological data provide growing evidence for microbial activity in banded iron-formations // Geology. 2011. V. 39. N 8. P. 707–710.
29. Lindsay J.E., Brasier M.D. Evolution of Precambrian Atmosphere: Carbon Isotopic Evidence from the Australian Continent // Precambrian Earth: Tempos and Events. Developments in Precambrian Geology. V. 12. 2004. P. 388–403.
30. Miot J., Bencerara K., Morin G., Kappler A., Bernard S., Obst M., Scoury-Panet F., Guigner J.-M., Posth N., Galvez M., Brown G.E., Guyot F. Iron biomineralization by anaerobic neutrophic iron-oxidizing bacteria // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. V. 73. N 3. P. 696–711.
31. Poesch N.R., Konhauser K.O., Kappler A. Microbial processes in banded iron formation deposition // Sedimentology. 2013. V. 60. N 7. P. 1733–1744.
32. Widdel F., Schnell S., Heising S., Ehrenreich A., Assmus B., Schink B. Ferrous iron oxidation by anoxygenic phototrophic bacteria // Nature. 1993. V. 362. N 6423. P. 834–836.
33. Walsh M. Microfossils and possible microfossils from the Early Archean Onverwacht Group, Barberton Mountain Land, South Africa // Precambrian Research. 1992. V. 54. P. 271–292.

## REFERENCES

1. Bergman I.A. *The Iron-Siliceous Ore Genesis of the Early Precambrian*. Moscow, VIMS Publ., 2013, 323 p. (in Russian).
2. Bogatyrev B.A. «Evolution of Bauxite Formation in Earth History». *Conceptual Problems of the Lithological Studies in Russia*. Ed. by O. Yapaskurt et al. Vol. I. Kazan, Kazan University Publ., 2011, pp. 129–133. (in Russian).
3. Vassoevich N.B. «Introduction», in *Diagenesis and Catagenesis of Sedimentary Formations*. Moscow, Mir Publ., 1971, pp. 5–8 (in Russian).
4. Dena Dzh.D., Dena E.S., Pelach Ch., Berman G., Frondel' K. Sistema mineralogii. T. 1. Polutom 2. M., IL Publ., 1951, 420 s.
5. Dubinina G.A., Sorokina A.Yu. Neutrophilic Lithotrophic IronG Oxidizing Prokaryotes and Their Role in the Biogeochemical Processes of the Iron Cycle, *Microbiology*, 2014, vol. 83, no. 2, pp. 127–142. (in Russian).
6. Zavarzina D.G. «Formation of magnetite and siderite by thermophilic Fe(III)-reducing bacteria», *Paleontological Journal*, 2004, vol. 38, no. 6, pp. 585–589. (in Russian).
7. Kuznetsov V.G. *Evolution of the Carbonate Formation in the Earth History*. Moscow: GEOS Publ., 2003, 262 p. (in Russian).
8. Kuznetsov V.G. The Relationship between Stratigraphic Distribution of Magnesites and Development of Cyanobacteria, *Doklady Earth Sciences*, 2004, vol. 396, no. 6, pp. 783–787. (in Russian)
9. Kuznetsov V.G. Evolution of Silica Accumulation in the Earth's History and Its Relation to Biota Development, *Doklady Earth Sciences*, 2011, vol. 441, no. 6, pp. 775–779. (in Russian).
10. Kuznetsov V.G. *Evolution of Sedimentary Rock Formation in the Earth History*. Moscow, Nauchny mir Publ., 2016, 212 p. (in Russian).
11. Maslov A.V., Grazhdankin D.V. Precambrian in the Geological Time Scale, *Litosfera*, 2012, vol. 3, pp. 151–155. (in Russian).
12. Maslov A.V., Podkovyrov V.N. Ocean Redox State at 2500–500 Ma: Modern Concepts, *Lithology and Mineral Resources*, 2018, vol. 53, no. 3, pp. 190–211.
13. Pustovalov L.V. *Petrography of Sedimentary Rocks*. Moscow, Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1940, Vol. I, 476 p. (in Russian).
14. Rozen O.M. Appearing Signs of Base Sediments and the Conditions of Early Lithogenesis in Earth History, *Conceptual Problems of the Lithological Studies in Russia*. Ed. by O. Yapaskurt et al. Vol. I. Kazan, Kazan University Publ., 2011, pp. 173–176. (in Russian).
15. Rozen O.M., Abbyasov A.A., Zlobin V.L., Safronov V.T. Carbonaceous rocks in metamorphic complexes: petrogenesis, mineral composition of original deposits, conditions of sedimentation, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2003, vol 1, pp. 38–47. (in Russian).
16. Ronov A.B. *Stratisphere, or the Sedimentary Shell of the Earth (Qualitative Study)*. Moscow, Nauka Publ., 1993. 144 p. (in Russian).
17. Strakhov V.N. *Iron-oxide Facies and Their Counterparts in Earth History. An Attempt of Historical and Geological Analysis of the Sedimentation Process*. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1947, 267 p. (in Russian).
18. Strakhov V.N. On Periodicity and Irreversible Evolution of Sedimentation in the Earth History, *Izvestia AN SSSR, Geological Series*, 1949, vol. 6, pp. 70–111. (in Russian).
19. Khvorova I.V. Main Features of the Evolution of Silica Accumulation in Phanerozoic, *Evolution of Sedimentary Process in the Oceans and Continents*. Ed. by P. Timofeev. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 111–120. (in Russian).

20. Yanshin A.L. *Evolution of Geological Processes in Earth History*. Leningrad, Nauka Publ., 1988, 39 p. (in Russian).
  21. Bakker A., Holland H.D., Wang P.-L., Stein H. J., Hannah J. L., Coetzee L.L., Beukes N.J. Dating the rise of atmospheric oxygen, *Nature*, 2004, vol. 427, no. 8, pp. 117–120.
  22. Croal L.R., Jiao Y., Newman D.K. Phototrophic Fe (II) oxidation in an atmosphere of H<sub>2</sub>: implications for Archean banded iron formations, *Geobiology*, 2009, vol. 7, no. 1, pp. 21–24.
  23. Daly R. First calcareous fossils and evolution of limestones, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1909, vol. 20, pp. 2517–2527.
  24. Hofmann H.J., Grey K., Thorpe R.I. Origin of 3.45 Ga coniform stromatolites in the Warrawoona Group, Western Australia, *Geol. Soc. Amer., Bull.*, 1999, vol. 111, pp. 1256–1262.
  25. Kappler A., Newman D.K. Formation of Fe (III) minerals by Fe (II) oxidizing photoautotrophic bacteria, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2004, vol. 68, no. 6, pp. 1217–1226.
  26. Kappler A., Pasquero C., Konhauser K.O., Newman D.K. Deposition of banded iron formations by anoxygenic phototrophic Fe(II)-oxidizing bacteria, *Geology* 2005, vol. 33, no. 11, pp. 865–868.
  27. Konhauser K., Hamade T., Raiswell R., Morris R.C., Ferris P.C., Southam G., Ganfield D.E. Could bacteria have formed the Precambrian banded iron formations?, *Geology*, 2002, vol. 30, no. 12, pp. 1079–1082.
  28. Li J.L., Konchauser K.O., Cole D.R., Phelps T.J. Mineral ecophysiological data provide growing evidence for microbial activity in banded iron-formations, *Geology*, 2011, vol. 39, no. 8, pp. 707–710.
  29. Lindsay J.E., Brasier M.D. Evolution of Precambrian Atmosphere: Carbon Isotopic Evidence from the Australian Continent, in *Precambrian Earth: Tempos and Events. Developments in Precambrian Geology*, vol. 12, Elsevier, 2004, pp. 388–403.
  30. Miot J., Bencerara K. Morin G., Kappler A., Bernard S., Obst M., Scourie-Panet F., Guigner J.-M., Posth N., Galvez M., Broun G.E., Guyot F. Iron biomineralization by anaerobic neutrophilic iron-oxidizing bacteria, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2009, vol. 73, no. 3, pp. 696–711.
  31. Posch N.R., Konhauser K.O., Kappler A. Microbiological processes in banded iron formation deposition, *Sedimentology*, 2013, vol. 60, no. 7, pp. 1733–1744.
  32. Widdel F., Schnell S., Heising S., Ehrenreich A., Assmus B., Schink B. Ferrous iron oxidation by anoxygenic phototrophic bacteria, *Nature*, 1993, vol. 362, no. 6423, pp. 834–836.
  33. Walsh M. Microfossils and possible microfossils from the Early Archean Onverwacht Group, Barberton Mountain Land, South Africa, *Precambrian Research*, vol. 54, 1992, pp. 271–292.
-

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,  
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ  
USEFUL MINERALS,  
METHODS OF THEIR PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 422.8.063:543:550.34:553.81

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ  
КИМБЕРЛИТА И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ЫГЫАТТИНСКОГО  
АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

*Т.С. СТАРКОВА<sup>1</sup>, М.В. МАЛЬЦЕВ<sup>2</sup>, А.В. ТОЛСТОВ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО)  
16, Чернышевское шоссе, г. Мирный 678175, Республика Саха (Якутия), Россия  
e-mail: StarkovaTS@alrosa.ru, TolstovAV@alrosa.ru*

*<sup>2</sup>Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)  
76, Вилуйская ул., г. Мирный 678175, Республика Саха (Якутия), Россия  
e-mail: MaltsevAV@alrosa.ru*

Приведены новые данные по составу индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) — пиропов и пикроильменитов — первого кимберлитового тела Т-54-14, открытого в 2015 г. в Слюдякарском кимберлитовом поле геологами Вилуйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) при заверке аномалии Т-54-14. Выявлено, что среди пиропов кимберлитового тела Т-54-14 преобладают разновидности перцолитового парагенезиса, доля пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса не превышает 1,8%. Среди пикроильменитов преобладают низкохромистые разновидности с содержанием магния 5–9 мас. % MgO, отсутствуют низкомагнезиальные высокохромистые разновидности. Проведено сравнение пиропов и пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14 с составами ИМК из близко расположенного высококонтрастного ореола Хатырык (Слюдякарское поле), которое показало, что пиропы ореола отличаются высоким содержанием примеси марганца (в среднем 0,5 мас. % MnO), а среди пикроильменитов установлены низко- и высокомагнезиальные высокохромистые разновидности. Сравнение составов ИМК ореола Восточный (Ыгыаттинское поле) с ИМК кимберлитового тела Т-54-14 также выявило ряд различий: более высокое содержание пиропов верлитового (10%) и алмазоносного дунит-гарцбургитового (7%) парагенезисов, более низкое содержание примеси марганца в пиропе — 0,45 мас. % MnO, наличие среди пикроильменитов низкомагнезиальных, высокохромистых разновидностей. Присутствие различных высококонтрастных ореолов ИМК, существенные их различия в минеральном составе, в том числе выявление пиропов алмазных парагенезисов, прямые находки алмазов и пиропов без следов механического износа в осадочных каменноугольных и пермских отложениях с заведомо низкими коллекторскими свойствами, указывают на высокую перспективность обнаружения промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел в Ыгыаттинском районе.

Ключевые слова: кимберлиты; индикаторные минералы кимберлита; Слюдякарское кимберлитовое поле; Ыгыаттинский алмазоносный район.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-35-44

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF INDICATOR MINERALS OF KIMBERLITES AND NEW PERSPECTIVES DIAMOND OF THE YGYATTA DIAMONDIFEROUS REGION (WESTERN YAKUTIA)

T.S. STARKOVA, M.V. MALTSEV, A.V. TOLSTOV

ALROSA Public Joint Stock Company (PAO)  
6, Lenina ul., Mirny 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Russia  
e-mail: StarkovaTS@alrosa.ru, MaltsevAV@alrosa.ru, TolstovAV@alrosa.ru

The new data on the composition of kimberlite indicator minerals (KIM) — pyropes and picroilmenites — of the first kimberlite body T-54-14, opened in 2015 in the Syuldyukar kimberlite field by the geologists of ALROSA PJSC, during the verification of the anomaly T-54-14, have been given. The pyropes of the kimberlite body T-54-14 are represented mainly by the differences of the lherzolite paragenesis, the concentration of pyropes of the diamondiferous dunite-harzburgite paragenesis is low and does not exceed 1,8%. Among the picroilmenites the low-chromium varieties prevail, with the content of magnesium 5–9 wt. % MgO, the low-magnesium high-chromium varieties are absent. The comparison data with KIM of Khatyryk (Syuldyukar field) and Vostochny (Ygyatta field) high-contrast halos, allocated within the Ygyatta diamondiferous region, have been provided. The pyropes from the Khatyryk halo are close in composition to the pyropes of the kimberlite body T-54-14, but show a higher concentration of manganese — 0,5 wt.% MnO. The picroilmenites from the Khatyryk halo are distinguished mainly by the presence of high-chromium high- and low-magnesium varieties. KIM from the Vostochny halo also have differences in the composition in comparison with the KIM of the kimberlite body T-54-14. A higher concentration of wehrlite (10%) and diamondiferous dunite-harzburgite (7%) pyropes has been established, pyropes have a lower (0,45 wt.%) concentration of MnO, high-chromium low-magnesium varieties of picroilmenites have been identified. The presence of high-contrast halos of IMK, significant differences in the mineral composition, direct findings the diamonds and pyropes without marks of mechanical wears in the sedimentary Carbon and Permian deposits with low reservoir properties indicate a high prospect for the discovery of a industrial diamonds kimberlites in the Ygyatta region.

**К е y w o r d s:** kimberlites; indicator minerals of kimberlite; Syuldyukar kimberlite field; diamondiferous region of Ygyatta.

Ыгыаттинский алмазоносный район расположен в пределах Якутской алмазоносной провинции, в междуречье Вилюй—Марха и приурочен к Вилюйско-Мархинской зоне глубинных разломов (ВМЗ) [2, 3, 5, 13, 14]. На территории района в западной части ВМЗ на сегодняшний день выделяются установленное Сьюльдюкарское и прогнозируемое Кютерское кимберлитовые поля [10, 11]. В пределах Сьюльдюкарского поля выявлено первое алмазоносное кимберлитовое тело, условно названное Сьюльдюкарское. В этом же районе прогнозируются Ыгыаттинское и Утунинское кимберлитовые поля, тяготеющие к её восточной ветви (рис. 1), на территории которых к настоящему времени выявлен ряд высококонтрастных ореолов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), не имеющих коренного источника [9, 11].

Авторами проведено сравнение составов пиропов и пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14 (Сьюльдюкарское поле) с пиропами и пикроильменитами близкорасположенного ореола Хатырык с признаками ближнего сноса, выделенного в 1982 г. геологами Ботубинской ГРЭ в Сьюльдюкарском поле, и ореола Восточный (прогнозируемое Ыгыаттинское поле).

**Методы исследований.** В работе использован фактический материал, представленный 3224 микронзондовыми анализами пиропов и пикроильменитовиз кимберлитового тела Т-54-14 и ореола Восточный, отобранных из шлиховых проб и изученных авторами в процессе геолого-разведочных работ Ботубинской (затем и Вилюйской) ГРЭ в период с 2015 по 2018 гг. Состав минералов опре-

делён на микронзондовом анализаторе JXA-8230 (Jeol) в НИГП (рентгеноспектральный микроанализ — РСМА), изучение келифитовых кайм на пиропках проведено на микроанализаторе JXA-8800R (Jeol) в режиме сканирующего электронного микроскопа. Также использованы архивные данные из базы данных НИГП по составам ИМК ореола Хатырык (1341 анализ). Вариации содержаний и среднее содержание основных компонентов в изученных пиропках и пикроильменитах представлены в таблице.

**Сьюльдюкарское кимберлитовое поле.** При заверке магнитной аномалии Т-54-14 весной 2015 г. поисковым бурением была вскрыта первая алмазоносная кимберлитовая трубка, состоящая из двух сопряженных тел — западного и восточного, различающихся между собой по продуктивности, минералогическим и петрографическим характеристикам. Особенности геологического строения и вещественного состава выявленных кимберлитов изучены и подробно описаны в [10—13]. Авторами более подробно рассмотрены характеристики индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) нового тела в сравнении с минералами из близлежащих ореолов района — Хатырык (Сьюльдюкарское поле) и Восточный (Ыгыаттинское поле).

Кимберлиты тела Т-54-14, как и содержащиеся в них минералы-индикаторы, по сравнению с кимберлитами Якутской алмазоносной провинции характеризуются практически полным отсутствием составов с экстремально высокими концентрациями петрогенных ( $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $Al_2O_3$ ) и некоторых индикаторных оксидов ( $Cr_2O_3$ ) [8, 17]. Например,

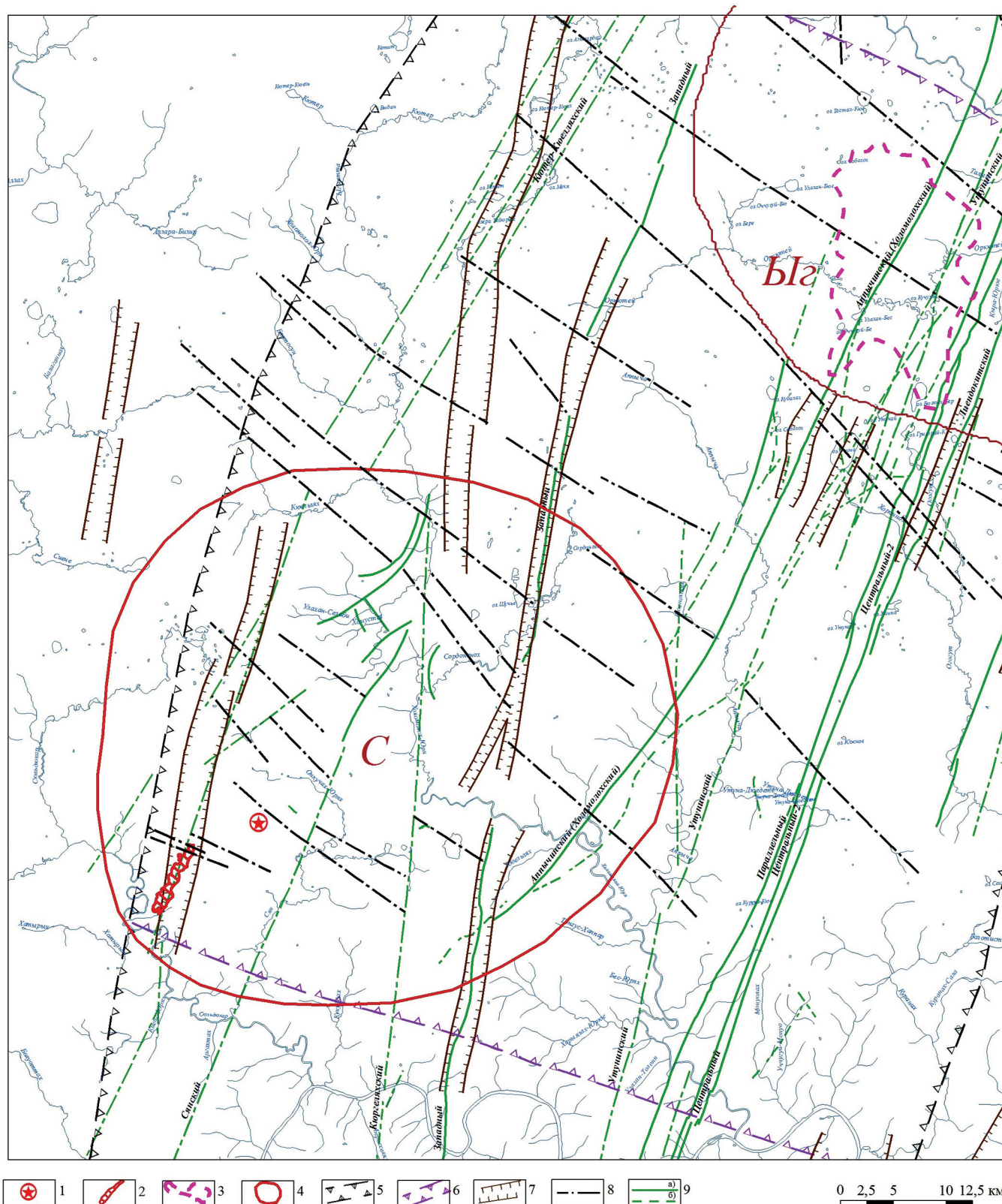


Рис. 1. Схема центральной и юго-западной частей Ыгыаттинского алмазодобывающего района: 1 — алмазодобывающее кимберлитовое тело «Т-54-14»; 2 — высококонтрастный ореол рассеяния ИМК с признаками ближнего сноса — Хатырыкский; 3 — ореолы ИМК в разрезе ботубинской свиты карбона — Восточный; 4 — кимберлитовые поля Сюльдюкарское (С) и Ыгыаттинское (ЫГ); 5 — зоны разломов I порядка (Вилойско-Мархинская), благоприятные для размещения проявлений кимберлитового магматизма; 6 — зона повышенной проявленности разломов Ыгыаттинской рифтогенной зоны (разломы II порядка); 7 — грабенообразные структуры среднепалеозойского возраста, установленные по данным ГИС, сопряжённые с телами даек долеритов Вилойско-Мархинского комплекса; 8 — разрывные нарушения северо-западного простирания по данным  $\Delta T$ , связываемые с Ыгыаттинской рифтогенной тектонической зоной; 9 — оси линейных аэромагнитных аномалий, связываемые: а — с дайками долеритов высокой интенсивности среднепалеозойского возраста; б — с маломощными дайками долеритов средней и низкой интенсивности среднепалеозойского возраста. Карта составлена с использованием материалов Вилойской ГРЭ

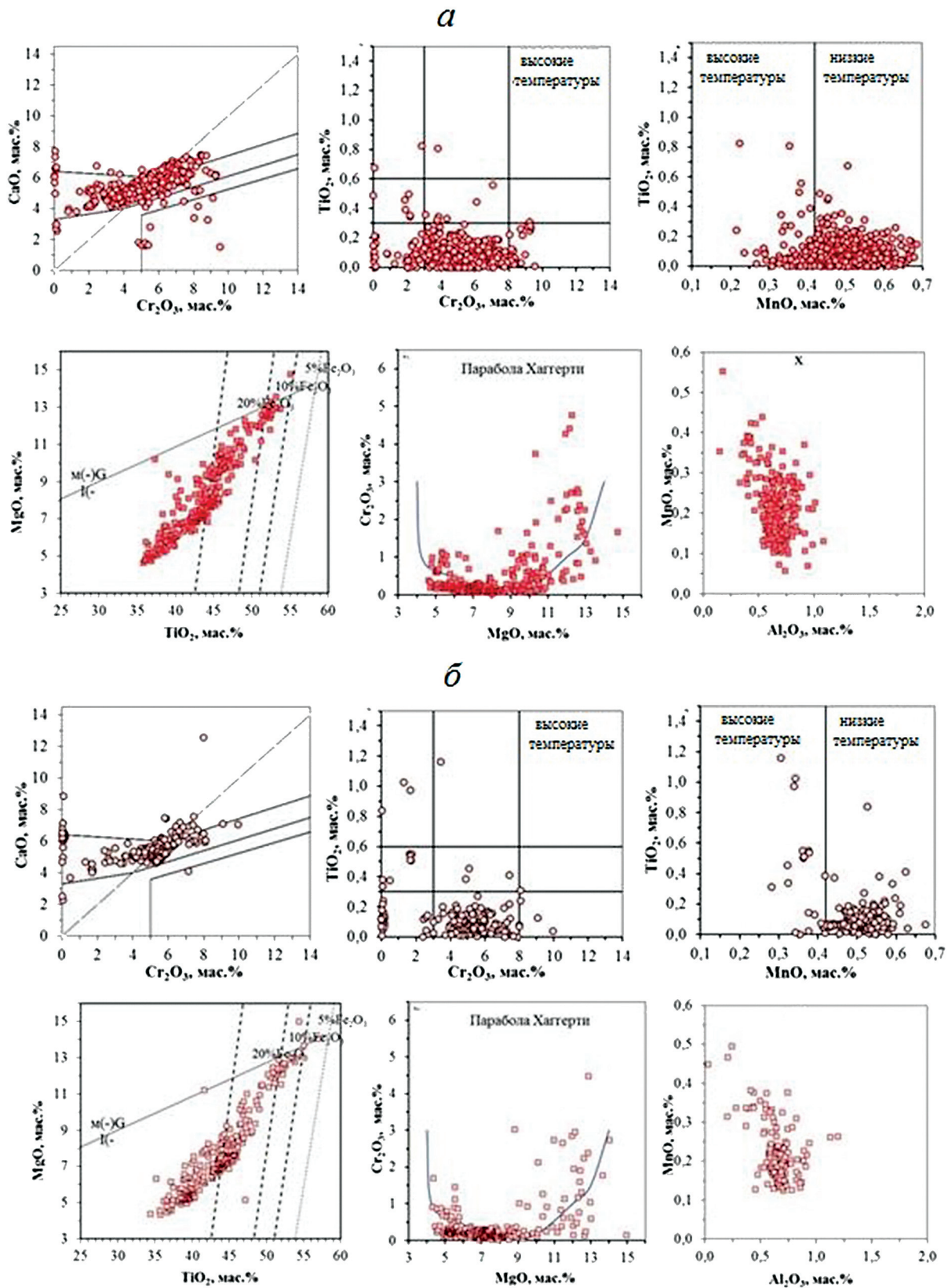


Рис. 2. Бинарные диаграммы составов гранатов (верхний ряд) и микроклинов (нижний) кимберлитового тела Т-54-14 (Сюльдюкарское поле) (а – восточное, б – западное). Для гранатов на бинарной диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{CaO}$  линиями выделены парагенезисы [17] сверху вниз: верлитовый, лерцолитовый, дунит-гарцбургитовый, справа внизу – алмазоносный дунит-гарцбургитовый. Для микроклинов на бинарной диаграмме  $\text{TiO}_2$ – $\text{MgO}$  линиями выделены области с различным содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

высококальциевые гранаты верлитового парагенезиса в единичном количестве установлены только в разновидностях кимберлитов западного тела, тогда как высокотитанистые гранаты (с содержанием более 0,6 мас. %  $\text{TiO}_2$ ) присутствуют в обеих выборках в виде единичных зёрен.

Кроме того, в выборках отсутствуют составы гранатов с содержанием более 10 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Главным отличием, характерным для гранатов кимберлитового тела Т-54-14, является повышенное (среднее 0,51 мас. %) содержание  $\text{MnO}$ .

В целом ассоциация ИМК, свойственная новому телу, пироп-пикроильменитовая, с преобладанием пикроильменита. Особенностью кимберлитовых гранатов является крайне низкое количество малохромистых разновидностей пироп-альмандинового ряда. В изученных выборках по ИМК из кимберлитов преобладают пиропы лерцолитового парагенезиса (по классификации Н.В. Соболева [17]), доля пиропов алмазного дунит-гарцбургитового парагенезиса составляет всего 1,8% для восточного и 0,5% для западного тел (рис. 2, а). Это согласуется с установленной алмазностью тел.

Для пикроильменитов обоих тел характерно отсутствие высокохромистых низкомагнезиальных разновидностей (ферритмагнитных при нормальных условиях), расположенных по левой ветви параболы Хаггерти. По соотношению основных породообразующих оксидов значимых различий в составе пикроильменитов также не выявлено (рис. 2, б). Для них типичны также низкие концентрации  $\text{MnO}$

(в среднем  $\approx 0,2$  мас. %) при широком диапазоне вариаций  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,15—1,0 мас. %, среднее 0,66 мас. %).

Средняя алмазность кимберлитового тела Т-54-14 (по данным обогащения керновых проб) [9] составляет 0,35 карат на тонну (кар./т), при этом алмазность двух сопряжённых тел различается в два раза: 0,51 кар./т — восточное тело, 0,26 кар./т — западное (в отдельных пробах 1,5 кар./т), что свидетельствует о дифференциации исходной кимберлитовой магмы при внедрении тел. В результате специализированных исследований коллекции алмазов тела Т-54-14, проведённых в ходе дополнительных научно-исследовательских работ в НИГП [9], показано отличие алмазов по морфологическим и оптико-спектрально-скопическим характеристикам от алмазов Далдыно-Алакитского, Мало-Ботуобинского и Среднемархинского алмазных районов: до 35% кристаллов представлены ламинарными ромбододекаэдрами, октаэдров составляют около 15%, переходные от октаэдра к ромбододекаэдру кристаллические формы составляют  $\approx 25\%$ , додекаэдровиды и округлые кристаллы — 15%, кристаллы кубического габитуса не превышают 0,2%, преобладают алмазы с концентрацией азота 100—800 ат. ppm и пониженным содержанием примеси водорода.

В совокупности полученные результаты позволяют предполагать в пределах Сюльдюкарского поля более высокие концентрации алмазов в новых прогнозируемых кимберлитовых телах [1, 4, 7, 18], в сравнении с недавно открытым кимберлитовым телом Т-54-14.

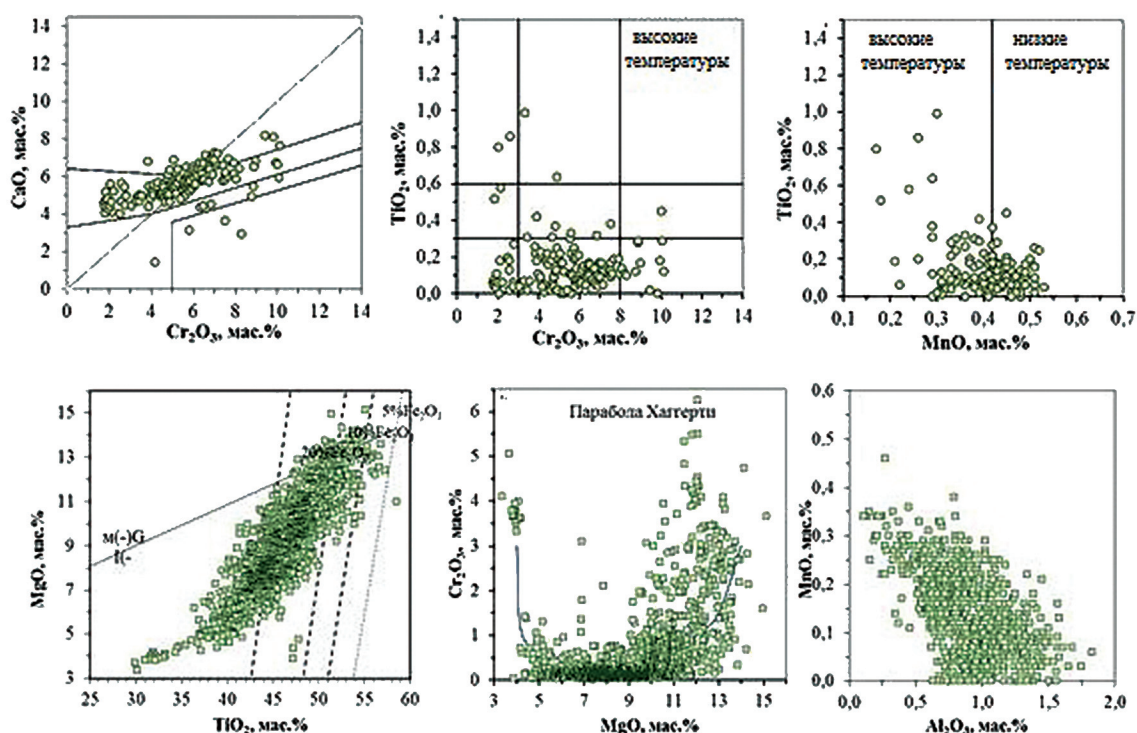


Рис. 3. Бинарные диаграммы составов гранатов (верхний ряд) и пикроильменитов (нижний ряд) высоконтрастного ореола Хатырык (Сюльдюкарское поле). Значение линий и полей аналогично таковым на рис. 2.

**Ореол ИМК Хатырык.** В пределах границ Сюльдюкарского поля с 1982 г. известен высококонтрастный ореол ИМК Хатырык, расположенный в западной части поля, в бассейне одноимённого ручья [3]. Ореол характеризуется пироп-хромшпинелид-пикроильменитовой ассоциацией, но здесь мы рассмотрим составы только пикроильменитов и пиропов, полученные в ходе ранее проведённых поисковых работ [9—11]. В изученной выборке составов пиропов отсутствуют низкохромистые разновидности, преобладают пиропы лерцолитового парагенезиса, содержание пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса составляет всего 2,1% (рис. 3). Обращает на себя внимание низкое (0,4 мас. %) содержание MnO, что обычно присуще промышленно алмазоносным телам.

Составы пикроильменитов отличаются широкими вариациями основных породообразующих элементов. В заметных количествах встречаются высокохромистые разновидности: как низкомагнетизальные (ферритмагнитные), так и высокомагнетизальные, парамагнитные при комнатной температуре. По соотношению примесных  $Al_2O_3$  и MnO пикроильмениты Хатырыкского ореола отличаются от пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14: на диаграмме  $Al_2O_3$ -MnO можно различить две области составов: одна, характеризующаяся повышенным содержанием MnO и пониженным —  $Al_2O_3$ , другая — с пониженным содержани-

ем примеси MnO и повышенным —  $Al_2O_3$ , (подобные составы отсутствуют в выборках пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14).

Это обстоятельство может прямо свидетельствовать о том, что данные группы составов изученных минералов отражают наличие разных источников кимберлитового материала, либо разное происхождение данного материала (к примеру, в выборке могут присутствовать составы пикроильменитов-вкрапленников и пикроильменитов из основной массы). Таким образом, существенные различия в составе пиропов и пикроильменитов ореола Хатырык и ИМК из кимберлитового тела Т-54-14, позволяют предполагать наличие других, ещё не выявленных кимберлитовых тел на территории Сюльдюкарского кимберлитового поля.

**Ореол ИМК Восточный.** К северо-востоку от Сюльдюкарского кимберлитового поля установлено несколько ореолов ИМК, среди которых наибольший интерес представляет высококонтрастный погребённый ореол Восточный, расположенный в пределах прогнозируемого Ыгыатинского поля. В качестве возможного источника кимберлитового материала на данной территории можно рассматривать как тело, вскрытое при заверке аномалии Т-54-14, так и ещё не выявленные, но прогнозируемые кимберлитовые тела. Ассоциация ИМК в пределах Восточного участка устойчивая, преимущественно пироп-пикроильменитовая, максималь-

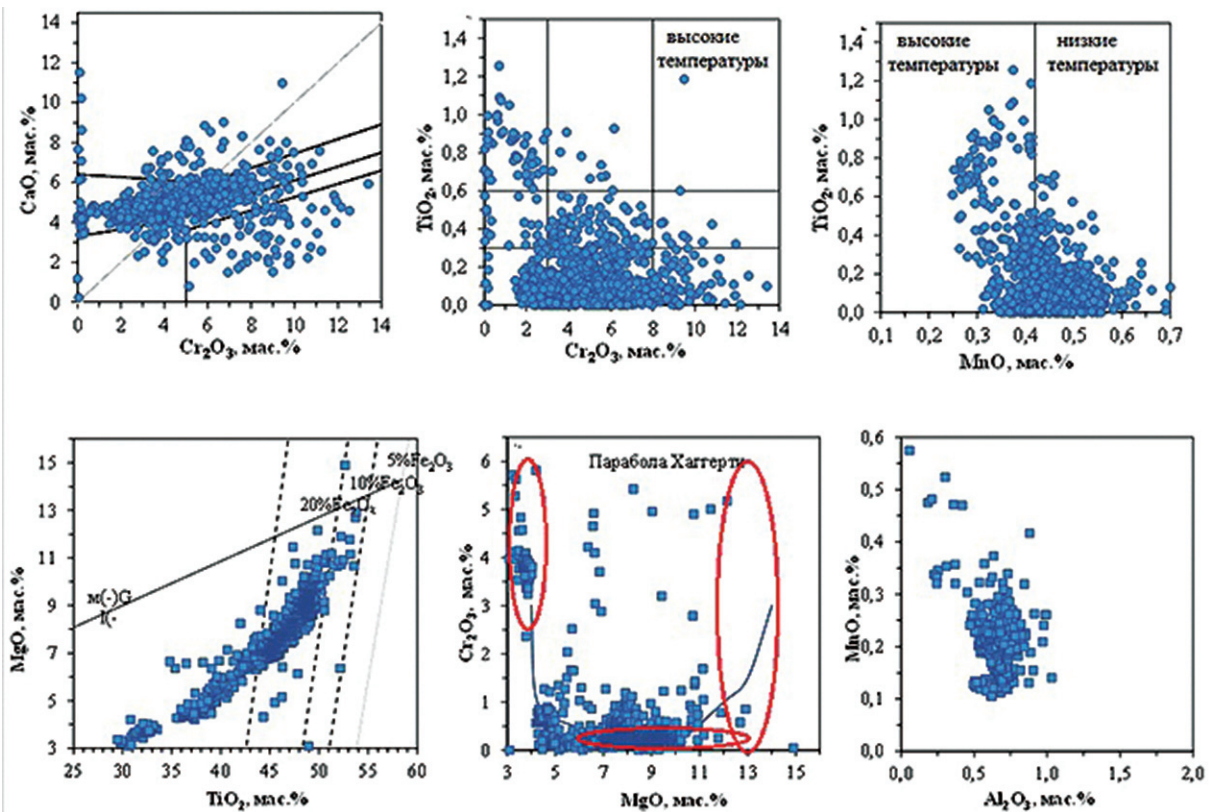


Рис. 4. Бинарные диаграммы составов гранатов (верхний ряд) и пикроильменитов (нижний) высоконтрастного ореола Восточный (Ыгыатинское поле). Значение линий и полей аналогично таковым на рис. 2. Для пикроильменитов на диаграмме MgO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> красным показаны поля составов пикроильменитов Мирнинского поля [6]



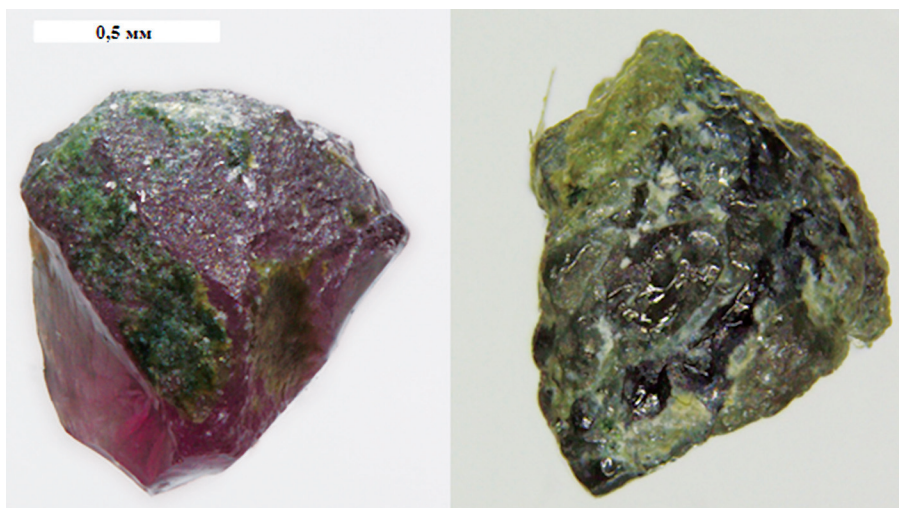


Рис. 5. Пиропы без признаков механического износа с участка Восточный

ные концентрации ИМК наблюдаются в подавляющем большинстве случаев в нижнепермских отложениях ахтарандинской свиты (рис. 1).

В выборке гранатов из шлиховых проб ореола Восточный отмечается небольшое количество (3,2%) гранатов эклогитового парагенезиса при преобладании лерцолитовых пиропов; отмечено заметное (около 10%) количество верлитовых пиропов, достаточно редко встречающихся в кимберлитах Сюддюкарского поля и в близлежащих ореолах ИМК. Доля пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса также значительно выше, чем в изученных кимберлитах, и составляет 7,1% (рис. 4). Кроме того, в отличие от гранатов из кимберлитов Сюддюкарского поля, в ореоле Восточный присутствует заметное количество гранатов с высоким содержанием  $TiO_2$  и уваровитового минала (содержание  $Cr_2O_3$  более 10 мас. %). Среднее содержание  $MnO$  в гранатах составляет 0,45 мас. %, что характерно для промышленно алмазоносных тел [1, 10, 18].

В шлиховых поисковых пробах участка, отобранных преимущественно из отложений ахтарандинской свиты нижней перми, периодически отмечаются уникальные находки пиропов без признаков механического износа, нередко с сохранившейся первичной трещиноватостью и реликтами измененной келифитовой каймы на поверхности (рис. 5). Состав келифитовых кайм по стехиометрии близок к флогопитам, глинизированным в различной степени. Для флогопитов, ассоциирующих с пиропами, в целом типична зональность, выраженная в закономерном увеличении содержания  $Cr_2O_3$  в направлении от внутренней части каймы к ее внешнему краю. В келифитовой кайме некоторых зёрен были также установлены идиоморфные микрокристаллические хромшпинелиды (рис. 6) с содержанием  $Cr_2O_3$  на уровне 40—45 мас. %, что подтверждает образование каймы в результате реакционного воздействия кимберлитового расплава.

Пробы, отобранные из ореола Восточный, содержащие пиропы без признаков механического износа, не имеют чёткой локализации в пределах участка, встречаются спорадически, что, по-видимому, связано с низкими коллекторскими свойствами нижнепермских отложений (мелкозернистые песчаные и глинисто-алевритовые разновидности). В известной степени это осложняет локализацию перспективной площади и проведение поисковых работ на данной территории. Тем не менее подобные находки пиропов без видимых следов износа, в совокупности с единичными находками алмазов, рассматриваемыми нами в качестве прямых минералогических признаков, совместно с благоприятными структурно-тектоническими и геолого-геофизическими поисковыми предпосылками,

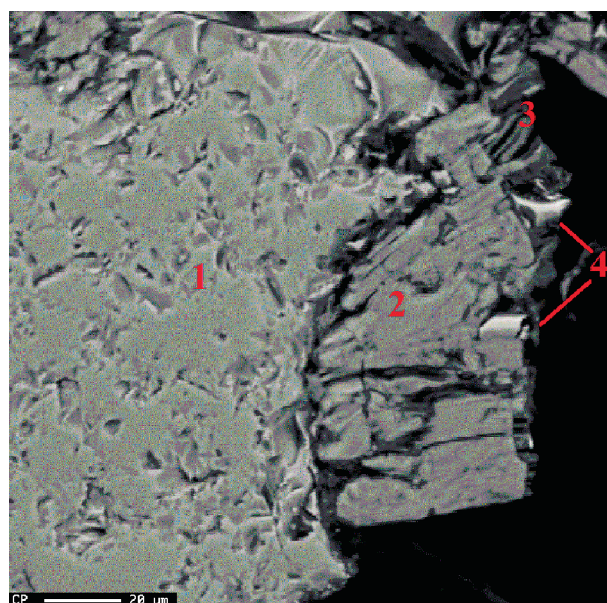


Рис. 6. Фрагмент зерна пироба с реликтом келифитовой каймы (электронно-зондовый снимок в отраженных электронах): 1 – пироп, 2 – флогопит, 3 – глина, 4 – хромшпинелиды

позволяют предполагать наличие на данном участке коренного источника алмазов [2, 3, 5].

Среди пикроильменитов ореола Восточный установлены высокохромистые низкомагнезиальные разности, типичные для известных кимберлитовых тел Мирнинского поля и встречающиеся также в ореоле Хатырык. При этом количество высокомагнезиальных пикроильменитов с различным содержанием примеси  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , характерных для пикроильменитов известных тел Мирнинского поля [6], небольшое. По соотношению содержаний оксидов Mn и Al пикроильмениты близки к пикроильменитам кимберлитового тела Т-54-14 [7, 8, 10].

Таким образом, составы пиропов и пикроильменитов ореола Восточный заметно отличаются от составов ИМК ореола Хатырык и кимберлитов Сюльдюкарского поля. По характеру распределения основных и примесных элементов, эти минералы ореола Восточный имеют определённое сходство с пиропами и пикроильменитами известных алмазоносных тел высокопродуктивного Мирнинского поля (трубки Мир и Интернациональная), но более высокое содержание в них MnO — температурный показатель — свидетельствует об иных условиях образования, следовательно, и другом коренном источнике.

Наличие в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района ореолов ИМК, подобных Восточному, с учётом благоприятной структурно-тектонической позиции, находок алмазов и пиропов без следов механического износа позволяет уверенно прогнозировать в пределах этого района новые (Ыгыаттинского и Утунинского) кимберлитовые поля среднепалеозойского возраста с повышенной алмазоносностью (рис. 1) [3, 12–14, 16, 18].

### Выводы

1. Сравнительная характеристика составов пиропов и пикроильменитов Ыгыаттинского (ореол Восточный) и Сюльдюкарского (ореол Хатырык) кимберлитовых полей показывает их значимые различия от первого выявленного кимберлитового тела Т-54-14:

*Кимберлитовое тело Т-54-14:* среди пиропов преобладают разновидности лерцолитового парагенезиса [17], доля пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса не превышает 1,8%. Среди пикроильменитов преобладают низкохромистые разновидности с содержанием маг-

ния 5–9 мас. % MgO, отсутствуют высокохромистые низкомагнезиальные разновидности.

*Ореол Восточный:* среди пиропов отмечено более высокое, чем в теле Т-54-14, содержание пиропов верлитового (10%) и алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезисов (7%), более низкое содержание примеси MnO — 0,45 мас.%. Среди пикроильменитов установлены высокохромистые низкомагнезиальные разности, отсутствующие в выборке ИМК из кимберлитового тела Т-54-14.

*Ореол Хатырык:* составы пиропов по содержанию макрокомпонентов и соотношению пиропов различных парагенезисов [17] показывают определённое сходство с пиропами кимберлитового тела Т-54-14, при этом отличаются высоким содержанием примеси марганца — в среднем 0,5 мас. % MnO. Составы пикроильменитов характеризуются наличием высокохромистых низкомагнезиальных разностей и заметным количеством составов, отвечающих высокомагнезиальным высокохромистым пикроильменитам, типичным для высокоалмазоносных тел.

2. Помимо выявленного первого кимберлитового тела Т-54-14 в Сюльдюкарском поле прогнозируется новый коренной источник ИМК, сформировавший ореол Хатырык. Прогнозируемая алмазоносность данного источника, учитывая состав ИМК и наличие алмазов, ожидается на более высоком уровне по сравнению с Сюльдюкарским кимберлитовым телом (аномалия Т-54-14).

3. Прямые минералого-геохимические поисковые признаки и благоприятная структурно-тектоническая обстановка позволяют прогнозировать в Ыгыаттинском алмазоносном районе новые коренные источники алмазов, ответственные за ореол Восточный. Потенциальная продуктивность прогнозируемых объектов ожидается на уровне средней, но в целом большей по сравнению с выявленными кимберлитами Сюльдюкарского поля.

4. Наличие различных высококонтрастных ореолов ИМК, существенные различия в их минеральном составе, в том числе присутствие пиропов алмазных парагенезисов, а также прямые находки алмазов и пиропов без следов механического износа в осадочных каменноугольных и пермских отложениях с заведомо низкими коллекторскими свойствами, указывают на перспективность обнаружения промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел в Ыгыаттинском районе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г., Минин В.А. Петрохимические критерии оценки алмазоносности кимберлитовых месторождений Якутии // Геохимия. 2010. № 4. С. 366–376.
2. Горев Н.И., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Толстов А.В. Тектонические аспекты строения Вилюйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. 2011. № 3. С. 5–10.
3. Емельянов В.С., Толстов А.В., Борис Е.И. Новые данные о перспективах коренной алмазоносности Вилюйско-Мархинской зоны разломов // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. Якутск: Издательство СО РАН, 2004, С. 115–123.

4. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т. Геологические и минералогические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы 2006. № 4. С. 59–67.
5. Калмыков Б.А., Пелецкий М.Н. Палеогеографические особенности формирования Хатырыкского ореола кимберлитовых минералов // Мат. науч.-практ. конф. к 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК АЛРОСА «Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов». Мирный, 1998. С. 218–221.
6. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаас Г.С., Суворова Л.Ф., Богущ И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор Н.П. Похиленко. Мирный: ООО «МГТ», 2015. 480 с.
7. Лапин А.В., Толстов А.В., Антонов А.В. Изотопный состав Sr- и Nd- кимберлитов и конвергентных с ними пород Сибирской платформы // Доклады АН. 2007. Т. 414. № 1. С. 78–82.
8. Лапин А.В., Толстов А.В., Василенко В.Б. Петрохимические особенности кимберлитов Средне-Мархинского района в связи с проблемой геохимической неоднородности кимберлитов // Геохимия. 2007. № 12. С. 1292–1304.
9. Мальцев М.В. Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Слюдякарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе (Западная Якутия). Мирный, 2018. 24 с.
10. Мальцев М.В., Толстов А.В., Старкова Т.С., Иванов А.С. Особенности вещественного состава кимберлитов Слюдякарского поля (Западная Якутия) // Наука и образование. 2017. № 4. С. 37–43.
11. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 3. С. 86–94.
12. Мальцев М.В., Толстов А.В. Новые перспективы коренной алмазоносности Вилюй-Мархинского междуречья // Материалы Всероссийской научно-практической конференции ВНКП-2017. Якутск, 2017. С. 339–344.
13. Мальцев М.В., Толстов А.В. Перспективы выявления новых месторождений алмазов в Западной Якутии (Вилюй-Мархинское междуречье, Ыгыаттинский алмазоносный район) // Геология и минерагения Северной Евразии Материалы совещания, приуроченного к 60-летию ИГиГ СО АН СССР. Новосибирск, 2017. С. 149–150.
14. Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 14–23.
15. Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накыньском поле Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 227–240.
16. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Orihashi Y., Nakai S., Serov I.V. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb Dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS // Geochemical Journal. 2016. Т. 50. N 5. P. 431–438.
17. Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Tolstov A.V., Logvinova A.M., Kuz'min D.V., Sobolev A.V., Batanova V.G. Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokouonapaskaya Kimberlite Pipe, Yakutia // Doklady Earth Sciences. 2015. Т. 463. N 12. P. 828–832.
18. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition // Geochemistry International. 2012. Т. 50. № 12. P. 988 – 1006.

#### REFERENCES

1. Vasilenko V.B., Tolstov A.V., Kuznetsova L.G., Minin V.A. Petrohimicheskie kriterii ocenki almazonosnosti kimberlitovykh mestorozhdenij Yakutii [Petrochemical criteria of diamond content evaluation of the Yakutian kimberlite deposits]. *Geohimiya* [Geochemistry] 2010, no. 4, pp. 366–376. (In Russian)
2. Gorev N.I., Gerasimchuk A.V., Protsenko E.V., Tolstov A.V. Tektonicheskie aspekty stroeniya Vilyujsko-Marhinskoy zony, ih ispol'zovanie pri prognozirovanii kimberlitovykh polej [Tectonic aspects of the structure of the Vilyui-Markha zone, their use in predicting kimberlite fields]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2011, no. 3, pp. 5–10. (In Russian)
3. Yemelyanov V.S., Tolstov A.V., Boris E.I. Novye dannye o perspektivah korennoj almazonosnosti Vilyujsko-Marhinskoy zony razlomov [New data concerning native diamond content prospects of Viliuy-Markha fracture zone]. *Voprosy metodiki prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh* [Issues of mineral deposits forecasting and prospecting techniques], YB SU «SB RAS Publisher», Yakutsk, 2004, pp. 115–123. (In Russian)
4. Ignatov P.A., Bushkov K.Y., Stein Y.I., Tolstov A.V., Yanygin Y.T. Geologicheskie i mineralogo-geohimicheskie priznaki struktur, kontroliuyushchih almazonosnye kimberlity Nakynskogo polya Yakutii [Geological and mineralogical-geochemical features of the Nakyn field (Yakutia) diamondiferous kimberlites controlling structures]. *Rudy i metall* [Ores and metals] 2006, no. 4, pp. 59 – 67. (In Russian).
5. Kalmykov B.A., Peletskiy M.N. Paleogeographical peculiarities of Khatyryk kimberlite minerals' aureole formation. *Collected papers from the Theoretical and practical conference devoted to the 30th anniversary of YaNIGP CSRMP (ALROSA JSC) «Diamond deposits geology, location patterns, forecasting and prospecting techniques»*, Mirny, 1998, pp. 218–221. (In Russian)
6. Kostrovickij S.I., Specius Z.V., Yakovlev D.A., Fon-der-Flaas G.S., Suvorova L.F., Bogush I.N. *Atlas korenykh mestorozhdenij almazov Yakutskoj kimberlitovoy provincii. Отв. редактор Pohilenko N.P.* [Atlas of primary diamond deposits of Yakutian kimberlite province. Edited by N.P. Pokhilenko]. Mirny, LLC «MGT» Publ., 2015, 480 p. (In Russian)
7. Lapin A.V., Tolstov A.V., Antonov A.V. Izotopnyj sostav Sr- i Nd- kimberlitov i konvergentnykh s nimi porod Sibirskoy platformy [The Sr-Nd isotope composition of kimberlites and convergent rocks of the Siberian platform]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences] 2007, vol. 414, no. 1, pp. 78–82. (In Russian)
8. Lapin A.V., Tolstov A.V., Vasilenko V.B. Petrogeohimicheskie osobennosti kimberlitov Sredne-Marhinskogo rajona v svyazi s problemoj geohimicheskoy neodnorodnosti kimberlitov [Petroleum geochemical peculiarities of kimberlites from Sredne-Marhinskii diamondiferous region in connection with the problem of kimberlite geochemical heterogeneity]. *Geohimiya* [Geochemistry], 2007, no. 12, pp. 1292–1304. (In Russian)
9. Maltsev M.V. *Kriterii lokalizacii i veshchestvenno-indikacionnye priznaki Syul'dyukarskogo kimberlitovogo tela kak osnova prognozirovaniya mestorozhdenij almazov v Ygyatinskoy rajone (Zapadnaya Yakutiya)* [Localization criteria and real indication indicators of the Syuldyukarsky kimberlite body as a basis for predicting diamond deposits in the Ygyatta region (Western Yakutia)], Mirny, 2018, 24 p. (In Russian)
10. Maltsev M.V., Tolstov A.V., Starkova T.S., Ivanov A.S. Osobennosti veshchestvennogo sostava kimberlitov Syul'dyukarskogo polya (Zapadnaya Yakutiya) [Substance composition features of the Syuldyukar field kimberlites (Western Yakutia)]. *Nauka i obrazovanie* [Science and education], Yakutsk, 2017, no. 4, pp. 37–43. (In Russian)
11. Maltsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M., Starkova T.S. Novoe kimberlitovoe pole v Yakutii i tipomorfnye osobennosti ego mineralov-indikatorov [A new kimberlite field in Yakutia and its indicator minerals' typomorphic features]. *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya* [VSU Herald. Issue series: Geology], 2016, no. 3, pp. 86–94. (In Russian)
12. Maltsev M.V., Tolstov A.V. New native diamond content prospects of Viliuy-Markha interfluvium. *Collected papers of the All-Russian theoretical and practical conference ARTPC-2017*, Yakutsk, 2017, pp. 339–344. (In Russian)
13. Maltsev M.V., Tolstov A.V. Prospects of detection of new diamond deposits within West Yakutia (Viliuy-Markha interfluvium, Ygyatta diamondiferous region). *Geology and mineralogy of North Eurasia. Collected papers from the conference devoted to the 60th anniversary of IPGG SB RAS*, Novosibirsk, 2017, pp. 149–150. (In Russian)

14. Protsenko E.V., Tolstov A.V., Gorev N.I. Kriterii poiskov kimberlitov i novye perspektivy korennoj almazonosnosti Yakutii [Criteria for searching for kimberlites and new perspectives of the core diamond-bearing potential of Yakutia]. *Rudy i metally* [Ores and metals], 2018, no.4, pp. 14–23. (In Russian)
15. Tolstov A.V., Minin V.A., Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Razumov A.N. Novoe telo vysokoalmazonosnykh kimberlitov v Nakynskom pole Yakutskoj almazonosnoj provincii [A new highly diamondiferous kimberlite body in the Nakyn field of the Yakutian diamondiferous province]. *Geology and geophysics*, 2009, vol. 50, no. 3, pp. 227 – 240. (In Russian).
16. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Orihashi Y., Nakai S., Serov I.V., The Age of the Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS. *Geochemical Journal*, 2016, vol. 50, no. 5, pp. 431–438.
17. Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Tolstov A.V., Logvinova A.M., Kuz'min D.V., Sobolev A.V., Batanova V.G., Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokonapskaya Kimberlite Pipe, Yakutia. *Doklady Earth Sciences*, 2015. vol. 463, no. 2, pp. 828–832.
18. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition. *Geochemistry International*, 2012, vol. 50, no. 12, pp. 988–1006.

УДБ 553.411 (571.6)

## ЗОЛОТОНОСНОСТЬ КАМЧАТСКОГО СРЕДИННОГО МАССИВА

*В.А. СТЕПАНОВ, В.Е. КУНГУРОВА, И.А. КОЙДАН*

*Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН  
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия  
e-mail: vitstepanov@yandex.ru, kunwe@yandex.ru, koidan91@mail.ru*

Проанализирована золотоносность Камчатского срединного массива. Показано, что в его пределах широко развиты оруденение малосульфидной золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, а также образованные за его счёт россыпей. Значительную роль играют и рудопроявления золотомедно-молибден-порфировой формации, перспективные на обнаружение крупных месторождений с комплексными рудами. Кроме того, золото в виде попутного компонента находится в рудах месторождения Шануч и проявлений сульфидной медно-никелевой формации. Выделены три этапа рудообразования: позднемиоценовой, эоценовой и миоценовой. В позднемиоценовой этап формировалось оруденение золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, в эоцене — сульфидной медно-никелевой, а в миоцене — золотомедно-молибден-порфировой. Определены перспективы золотоносности срединного массива.

Ключевые слова: срединный массив; оруденение; золото; медь; никель; молибден.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-44-53

## GOLD MINERALIZATION OF THE MEDIAN MASSIF, KAMCHATKA (KAMCHATKA SREDINNYI MASSIF)

*V.A. STEPANOV, V.E. KUNGUROVA, I.A. KOIDAN*

*Geotechnological Scientific Research Center, FEB RAS  
30, Severo-Vostochnoye Shosse, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia  
e-mail: vitstepanov@yandex.ru, kunwe@yandex.ru, koidan@mail.ru*

The gold mineralization of the Kamchatka median massif has been analyzed. It has been shown that within its limits, the ore mineralization of low-sulphide gold-quartz and gold-sulfide-quartz formations and also placers, formed on the base of this mineralization are widely developed. A significant role is played also by the ore occurrences of the gold-copper-molybdenum-porphyry formation, prospecting for the discovery of large deposits with complex ores. Gold in the form of associated component is also presented in the ores of the Shanuch deposit and manifestations of the sulfide copper-nickel formation. Three stages of ore formation have been identified: late Cretaceous, Eocene and Miocene. In the late Cretaceous stage mineralization of gold-quartz and gold-sulfide-quartz formation was formed, in the Eocene — sulfide copper-nickel one, and in the Miocene — gold-copper-molybdenum-porphyry one. The prospects of gold mineralization of the median massif has been defined.

Keywords: median massif; mineralization; gold; copper; nickel; molybdenum.

В металлогеническом плане Камчатский срединный массив (КСМ) значительно отличается от обрамляющих его вулканогенных структур. В пределах срединного массива наиболее широко развито оруденение сульфидной медно-никелевой формации. Описанию эксплуатируемого медно-никелевого месторождения Шануч и ряда рудопоявлений посвящена серия публикаций [6, 9, 12]. Но золотоносности массива уделено мало внимания, несмотря на наличие значительного числа проявлений золото-кварцевой, золотосульфидно-кварцевой и золото-медно-молибден-порфириновой формаций, а также россыпей золота. Золото в виде попутного компонента отмечается также в медно-никелевых рудах. В статье сделана попытка заполнить этот пробел.

### Геологическое строение и геофизические поля КСМ

Камчатский срединный массив расположен в южной части Камчатского п-ова. Он представляет собой плитообразное тело, вытянутое в меридиональном направлении на 260 км при ширине около 50—60 км. Это крупный выступ протерозойских, палеозойских и мезозойских (до верхнемеловых) образований, отвечающий критериям срединного массива в понимании А.Л. Яншина [15], А.Д. Щеглова [14] и других исследователей. Ранее он отмечался как Срединный Камчатский массив, Срединный Камчатский выступ, Центральнo-Камчатский кристаллический массив или Срединно-Камчатский горст-антиклинорий [3, 5, 7, 10]. По геологическому строению и металлоносности КСМ значительно отличается от остальной территории Камчатского п-ова, на котором развиты главным образом вулканические образования мезокайнозойского возраста [4]. Древние метаморфические образования колпаковской и камчатской серий фундамента массива приурочены к центральной части массива, а терригенные, сланцевые и вулканогенно-осадочные толщи мелового и палеогенового возрастов, слагающие его чехол, — к периферии. В обрамлении массива развиты осадочные палеоген-неогеновые отложения. Стратифицированные образования прорваны интрузиями андриановского метагаббрового комплекса палеозойского возраста; крутогоровского плагиогранитового комплекса нижнего мела; кольского плагиогранит-гранодиоритового комплекса верхнего мела; левоандриановского дунит-клинопироксенит-монцитонитового комплекса верхнего мела—палеоцена; базитов и гипербазитов дукукского комплекса эоценового возраста; лавкинского гранодиоритового комплекса миоцена. Наиболее молодые риолиты и риодациты голоцена слагают Хангарское вулканическое сооружение. Срединный массив ограничен с востока Шаромским, а с запада Воровским региональными разломами с характерной для Камчатки меридиональной ориентировкой.

В гравитационном поле КСМ выделяется как область низких значений  $\Delta g$ , которая граничит с зонами интенсивного положительного поля, расположенными с востока и запада от него, по сложным гравиметрическим ступеням субмеридиональной ориентировки. Для КСМ типично также плавное слабоотрицательное или близкое к нулевому магнитное поле, что обусловлено преобладанием немагнитных пород. На этом фоне контрастными локальными положительными аномалиями отмечаются интрузии среднего, основного и ультраосновного составов, а также эффузивы и пирокластические отложения вулкана Хангар [9].

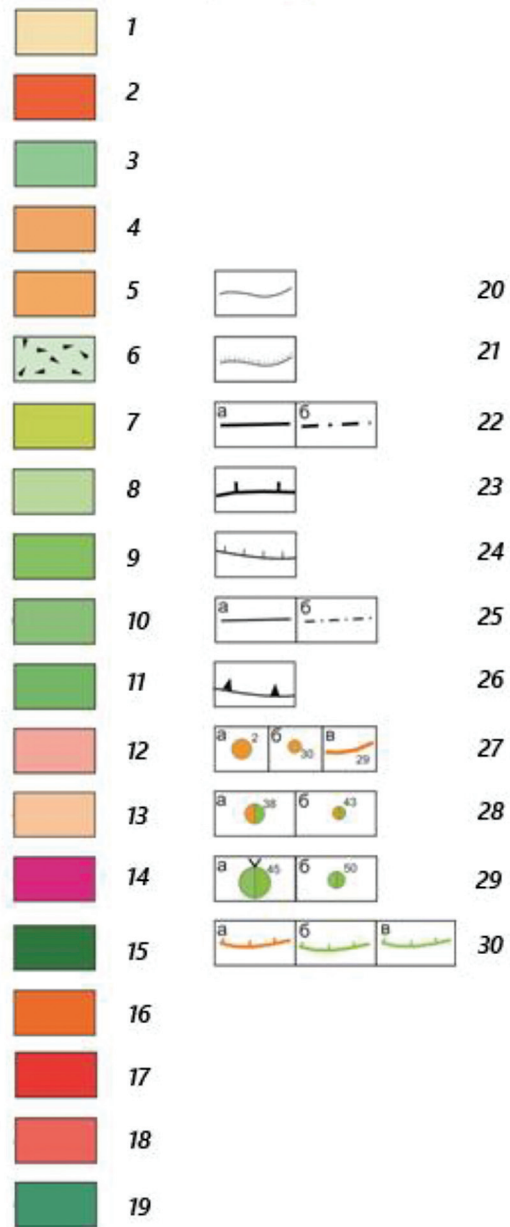
### Металлогения КСМ

На Камчатке широко развито оруденение вулканогенной золотосеребряной, а также ртутной телетермальной и вулканогенной формаций; на севере полуострова расположены богатые платинометалльные россыпи. В пределах Камчатского срединного массива наиболее широко представлено оруденение сульфидной медно-никелевой формации. Второе место по распространенности занимает золотое оруденение. Медно-никелевое оруденение сосредоточено в пределах двух узлов — Шанучском и Дукукском, приуроченных к северной и южной окраинам КСМ. Золотое оруденение сосредоточено в пяти потенциальных рудных узлах. В Крутогоровском, Юртинском и Порожисто-Гольцовском находятся проявления золото-кварцевой, золотосульфидно-кварцевой формации и россыпи золота, в Хим-Кирганикском и Крутогоровско-Андриановском узлах — оруденение золотомедно-молибден-порфириновой формации (рис. 1).

### Оруденение золото-кварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций

Проявления и точки минерализации золото-кварцевой, золотосульфидно-кварцевой формаций, а также россыпи золота расположены на площади трёх узлов — Крутогоровского, Юртинского и Порожисто-Гольцовского. Рудно-россыпные узлы расположены на северной и южной окраинах массива. Они приурочены к относительно опущенным блокам, сложенным полностью (Крутогоровский и Порожисто-Гольцовский узлы) или частично (Юртинский узел) терригенными, нередко черносланцевыми толщами мелового возраста. Для узлов характерно широкое развитие гранитных интрузий кольского плагиогранит-гранодиоритового комплекса позднемелового возраста.

*Крутогоровский рудно-россыпный узел* находится на северном фланге КСМ [10]. Он сложен главным образом терригенными, нередко черносланцевыми толщами мелового возраста, которые прорваны интрузиями плагиогранит-гранодиоритового сос-



тава кольского комплекса верхнего мела и гранодиоритами лавкинского комплекса миоцена. В его пределах известны проявления золота Дальнее и Майор, а также россыпи золота по р. Капитанская, руч. Майор и р. Химка.

Проявление Дальнее расположено в восточной части узла. В кремнистых породах и филлитах верхнего мела, прорванных субвулканическими телами диорит-порфириров, находится серия кварцевых и кварц-карбонатных жил. Мощность их в раздвухах достигает 1,5 м, протяженность до первых сотен метров. Содержание золота от 0,8 до 4,8 г/т, серебра до 1,5 г/т. Зона служит источником непромышленной россыпи по руч. Ветвистый и Дальний. Проба золота в россыпи 870 ‰.

Проявление Майор выявлено в юго-западной части узла. Вмещающие породы представлены филлитами хейванской свиты, прорванными телами ультрабазитов левоандриановского комплекса. В них находятся пять золотоносных кварцевых жил, мощностью 0,8—2,5 м, прослеженных до 700 м. В одной из жил установлено содержание золота до 0,8 г/т, серебра до 92,4 г/т. В гидротермально измененных ультрабазитах содержание золота достигает 4 г/т, а в делювиальных обломках филлитов — 10 г/т [10].

Россыпь р. Капитанская приурочена к пойме и первой надпойменной террасе нижней части долины. Золото в подавляющем большинстве случаев мелкое и средней крупности. Проба его составляет 801 ‰. Среднее содержание золота 252 мг/м<sup>3</sup>. Запасы по категории С<sub>1</sub> оценены в 37,5 кг в химически чистом виде. Забалансовая часть россыпи расположена в средней части долины. Размер золотин

0,15—0,25 мм. Забалансовые запасы составляют 419 кг, прогнозные ресурсы — 200 кг [10]. Россыпь руч. Майор приурочена к пойме и первой надпойменной террасе ручья. Золото мелкое и очень мелкое. Проба его 804 ‰. Запасы золота 28 кг при среднем содержании 378 мг/м<sup>3</sup>; прогнозные ресурсы 600 кг.

**Юртинский рудно-россыпной узел расположен** на юго-восточной окраине КСМ. В геологическом строении района принимают участие главным образом кристаллические сланцы колпаковской серии, менее развиты породы камчатской серии и терригенные породы хейванской свиты мелового возраста. Стратифицированные образования прорваны крупной трещинной интрузией гранитов и гранодиоритов кольского комплекса позднего мела, вытянутой в меридиональном направлении конформно простиранию срединного массива [1].

В пределах узла преобладает оруденение золотокварцевой (проявления Вершинное, Верхне-Юртинское, Восточное и Нижнее) и золотосульфидно-кварцевой (Дождливое) формаций, имеются россыпи золота. Золотое оруденение представлено кварцевыми, кварц-карбонатными жилами и линзами (проявления Верхне-Юртинское, Вершинное), а также зонами окварцевания и сульфидизации (рудопоявления Дождливое, Восточное и Нижнее) (табл. 1). Вмещающими породами чаще всего служат граниты, гранодиориты и диориты раннего мела, реже метаморфиты колпаковской серии, филлиты хейванской свиты. Вмещающие породы подвергнуты метасоматическому окварцеванию, аргиллизации и пиритизации. Рудные минералы представлены в основном пиритом, арсенопиритом

**Рис. 1. Схема золотоносности Камчатского срединного массива, по [10] с обобщениями и дополнениями авторов:** 1 — рыхлые четвертичные аллювиальные, болотные, ледниковые, гляциофлювиальные отложения; 2 — хангарский четвертичный андезидацитовый вулканический комплекс (ВК); 3 — четвертичные вулканические андезибазальтового состава; 4 — осадочные палеоген-неогеновые толщи; 5 — черепановский нижнепалеогеновый дацит-андезитовый ВК; 6 — верхнепалеогеновые тектоно-гравитационные микститы; 7 — кирганикская свита: туфы трахибазальтов, базальтов, андезибазальтов верхнего мела—нижнего палеоцена; 8—10 — верхнемеловые комплексы и свиты: 8 — кунунская, хозгонская свиты: алевриты, аргиллиты, песчаники, аспидные сланцы; 9 — ирунейский ВК базальтовый; 10 — алисторский ВК пикрит-базальтовый; 11 — хейванская, химкинская свиты: метапесчаники и метаалевриты, графитовые филлиты, альбит-хлоритовые, эпидот-хлорит-актинолитовые сланцы, филлиты нижнего—верхнего мела; 12—13 — метаморфические серии верхнего протерозоя: 12 — камчатская: высокоглиноземистые кристаллические сланцы, микрогнейсы; 13 — колпаковская: амфиболовые плагиогнейсы, слюдяные плагиогнейсы; 14—18 — плутонические комплексы: 14 — лавкинский гранодиоритовый (миоцен); 15 — дукусский габбро-норит-кортландитовый (эоцен); 16 — левоандриановский дунит-клинопироксенит-монцитонитовый (верхний мел—палеоцен); 17 — кольский плагиогранит-гранодиоритовый (верхний мел), 18 — крутогорский гнейсоплагиогранитовый (нижний мел); 19 — андриановский метагаббровый (нижний палеозой); 20—21 — геологические границы: 20 — между разновозрастными образованиями; 21 — несогласного залегания; 22—25 — разрывные тектонические нарушения: 22 — главные, выходящие на поверхность (а), скрытые под вышележащими образованиями (б); 23 — главные надвиги, 24 — второстепенные надвиги; 25 — второстепенные разломы, выходящие на поверхность (а), прочие разломы (б); 26 — кальдера вулкана Хангар; 27 — проявления (а), пункты минерализации (б) золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций и их номера; 28 — проявления (а), пункты минерализации (б) золотомедно-молибден-порфировой формации и их номера; 29 — месторождение (а), проявления (б) сульфидной медно-никелевой формации и их номера; 30 — границы рудных узлов с оруденением следующих формаций: а — золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой (II — Крутогорский, V — Юртинский, VII — Порожисто-Гольцовский), б — золотомедно-молибден-порфировой (III — Хим-Кирганикский; IV — Крутогорско-Андриановский), в — сульфидной медно-никелевой (I — Шанучский, VI — Дукусский); номера проявлений (П), пунктов минерализации (ПМ) и россыпей (Р): 1 — Гранитное (П), 2 — Утинское (П), 3 — Ближняя Гольцовка (ПМ), Дальняя Гольцовка (П), 5 — Утуй (П), 6 — Дальняя Гольцовка (Р), 7 — Средняя Гольцовка (Р), 8 — Ближняя Гольцовка (Р), 9 — Камешковая (Р), 10 — р. Утиная (Р), 11 — р. Утуй (Р), 12 — руч. Ивашка (Р), 13 — Куполонок (Р), 14 — Юбилейный (Р), 15 — Ажица (Р); 16 — Дождливое (П), 17 — Восточное (П), 18 — Нижний (П), 19 — руч. Золотой (Р), 20 — Шишино-Чимстина (ПМ), 21 — Шишино-Чимстина (Р), 22 — Экополц (Р), 23 — Пеница (Р); 24 — Верхне Юртинское (П), 25 — Вершинное (П), 26 — Юртинское (ПМ), 27 — Нижне Юртинское (ПМ), 28 — Туманное (ПМ), 29 — Верх. Озерной (Р), 30 — Широкий (ПМ), 31 — Дальнее (П), 32 — Майор (П), 33 — Майор (Р), 34 — Капитанская (Р), 35 — Химка (Р); 36 — Хим (П), 37 — Позднее (П), 38 — Кирганикское (П), 39 — Туманное (П), 40 — Малахитовое (П), 41 — Квахона (ПМ); 42 — Правохейванское (П), 43 — Андриановское (П); 44 — Лев. Коль (ПМ), 45 — месторождение Шануч, 46 — Графитовое (П), 47 — Восточно-Геозифическое (П), 48 — Тундровое (П), 49 — Квинум I, II (П), 50 — Ясное (П), 51 — Кортландитовое (П), 52 — Северное (П), 53 — Аннабергитовая Щель (П), 54 — Нижнемедвежье (П), 55 — Кувалорог (П), 56 — Олень (П)

Таблица 1

Проявления золота Юртинского рудно-россыпного узла

Номер пп	Проявление	Вмещающие породы	Тип рудных тел	Содержание Au, Ag в г/т, остальные элементы в %	Рудные минералы
1	Верхне-Юртинское	Гранодиориты раннего мела	Кварцевые жилы и линзы, зоны метасоматического окварцевания, аргиллизации и пиритизации	Золото до 1,9, серебро до 8,6	Арсенопирит, магнетит, сфалерит, полибазит, прустит, пираргирит
2	Вершинное	Кристаллические сланцы колпаковской серии	Кварцевые, кварц-карбонатные жилы, зоны прожилкового окварцевания	Золото 0,7—16,0, серебро до 20	Пирит
3	Дождливое	Гнейсы колпаковской серии, прорванные гранитами позднего мела и гранит-порфирами миоцена	Зона окварцевания и сульфидизации	Золото от 0,01 до 24,5, серебро 51,5—2452,9, свинец до 3,6, цинк до 0,24, мышьяк до 1	Пирит, арсенопирит, золото, галенит, канфилдит, сфалерит, аргентит, станнын
4	Восточное	Диориты позднего мела, прорванные дайками диорит-порфиров миоцена	Зона дробления, окварцевания и сульфидизации	Золото до 37,2, серебро до 12,4	Арсенопирит, молибденит, халькопирит, шеелит, пирит
5	Нижнее	Филлиты хейванской свиты	Зоны прожилкового окварцевания и сульфидизации	Золото до 5,8, серебро 3,9	Золото, галенит, сфалерит, халькопирит

том, галенитом, халькопиритом, сфалеритом и самородным золотом. Реже встречаются шеелит, молибденит, канфилдит, прустит и пираргирит. Количество рудных минералов обычно не превышает 1—5 %. Исключение составляет рудопроявление Дождливое с более высоким содержанием сульфидов свинца, мышьяка и цинка. Содержания золота в большинстве рудопроявлений достигает нескольких, реже нескольких десятков грамм на тонну, серебра — примерно в тех же количествах. На рудопроявлении Дождливое отмечается высокое (51,5—2408,9 г/т) содержание серебра, а также свинца (до 3,6 %), цинка (до 0,24 %) и мышьяка (до 1 %). По основным характеристикам большинство рудопроявлений относится к малосульфидной золотокварцевой формации, а рудопроявление Дождливое к золотосульфидно-кварцевой. Наиболее перспективными для постановки детальных поисковых работ являются рудопроявления Дождливое золотосульфидно-кварцевой формации и Восточное — золотокварцевой. Перспективы проявлений определяются тем, что рудные тела представлены масштабными зонами окварцевания и сульфидизации с высокими содержаниями золота и серебра.

Небольшие непромышленные россыпи золота известны в долинах ручьев Экополц и Золотой. Золото мелкое, хорошо окатанное, лепешковидной формы. Содержание его достигает 520 мг/м<sup>3</sup>.

**Порожисто-Гольцовский рудно-россыпной узел** расположен на южной оконечности КСМ [10]. Узел приурочен к пересечению крупных северо-восточных и северо-западных разломов, определяющих конфигурацию южного окончания срединного массива. На большей части узла развиты терригенные породы хозгонской, кихчикской и хейванской свит ранне- — позднемелового возраста. Терригенные породы прорваны небольшими интрузиями кольского плагиогранит-гранодиоритового комп-

лекса позднего мела, а также дайками гранит-порфиров, лампрофиров, диоритов и дацитов мел-палеогенового возраста. [1, 2].

В пределах района установлены проявления золотокварцевой (Утуй, Гранитное, Гольцовское) и золотосульфидно-кварцевой (Утинское) формаций, а также большое число россыпей золота. Проявления представлены зонами окварцевания с вкрапленными сульфидами, кварцевыми и кварц-карбонатными жилами, реже сульфидизированными дайками гранит-порфиров (табл. 2). Вмещающими являются терригенные породы, реже филлиты и зеленые сланцы мелового возраста. Они прорваны интрузиями гранитоидов кольского комплекса позднего мела, дайками гранит-порфиров, лампрофиров и диоритов, дацитов мел-палеогенового возраста. Вмещающие породы подвергнуты аргиллизации, окварцеванию и сульфидизации. В состав рудных минералов входят пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, золото, шеелит и сульфосоли серебра. Количество рудных минералов не превышает 1—5 %, за исключением рудопроявления Утинского, в рудах которого наблюдается повышенное содержание сульфидов (до 10—15 %). Содержания золота в проявлениях в целом не высокие: от 1—5 (рудопроявление Утуй, Гольцовское) до 10—12 г/т (Гранитное и Утинское); в одной пробе проявления Гранитное содержание золота достигает ураганной величины — 82,6 г/т [4]. Содержания серебра значительно выше, но не достигают величин, характерных для близповерхностного золотосеребряного оруденения. В рудах Утинского рудопроявления отмечаются высокие содержания свинца (до 5,98 %) и цинка (до 12,94 %). Большая часть рассмотренных проявлений отнесена к малосульфидной золотокварцевой формации, рудопроявление Утинское — к золотосульфидно-кварцевой. В поисковом отношении наибольший интерес представляют проявления



Таблица 2

Проявления золота Порожисто-Гольцовского рудно-россыпного узла

Номер пп	Проявление	Вмещающие породы	Тип рудных тел	Содержание Au, Ag в г/т, Остальные элементы в %	Рудные минералы
1	Утинское	Филлиты и зелёные сланцы, интрузии гранитов, дайки гранит-порфиров и лампрофиров	Зоны сульфидно-кварцевого прожилкования	Золото до 12,4, серебро до 96,4, цинк до 12,94, свинец до 5,98	Пирит, арсенопирит, золото, халькопирит, сфалерит, шеелит
2	Утуй	Терригенные породы, прорванные дайками диоритов и дацитов	Зоны дробления и окварцевания с кварцевыми и кварц-карбонатными жилами	Золото до 1,0, серебро 2,2	Пирит, галенит, халькопирит, сфалерит, золото, сульфосоли серебра
3	Гранитное	Граниты и диориты прорывают терригенные породы раннего—позднего мела	Кварцево-жильная зона	Золото до 10, в одной пробе 182,6, серебро до 60,7	Арсенопирит, пирит
4	Гольцовское	Терригенные породы, дайки гранит-порфиров	Зоны сульфидизации и прожилкового окварцевания, а также сульфидизированные дайки гранит-порфиров	В зонах золота до 5,0, реже более 10, серебро до 10–15. В дайках золото до 1,0, серебро до 2,0	Пирит, арсенопирит

Утинское золотосульфидно-кварцевой формации и Гранитное золотокварцевой. В этих проявлениях рудные тела представлены мощными и протяженными минерализованными зонами, а руды характеризуются высокими содержаниями золота.

В пределах Порожисто-Гольцовского узла расположено 10 россыпей золота. Данные о наиболее крупных из них отражены в табл. 3. Запасы золота в россыпях меняются от десятков килограммов (р. Ажица) до сотен килограммов (реки Утиная, Дальняя Гольцовка, Ближняя и Средняя Гольцовка) и до 1 т в россыпях р. Камешковая и руч. Половинчик. Добыча велась из россыпей Дальняя Гольцовка (извлечено 80 кг), Средняя Гольцовка (27,5 кг) и Ближняя Гольцовка (14,5 кг). Золото в россыпях мелкое и средней крупности, окатанность золотин средняя, иногда хорошая. Золото в

большинстве россыпей умеренно высокопробное (815—848 ‰) и лишь в россыпи р. Утиная встречается электрум (проба 581—664 ‰). Минералами спутниками золота в россыпях являются большей частью магнетит и ильменит. В россыпях р. Утиная и Камешковая отмечается шеелит. Иногда встречаются сростки золотин с кварцем, на отдельных золотилах наблюдается лимонитовая «рубашка». В россыпи р. Ближняя Гольцовка обнаружены зёрна платины. Большинство россыпей образовано за счет эрозии располагающихся в непосредственной близости рудопроявлений золотокварцевой формации. В отличие от них россыпь р. Утиная, в которой преобладает электрум, сформирована за счёт рудопроявления Утинского золотосульфидно-кварцевой формации. На площади узла есть перспективы открытия новых россыпей золота.

Таблица 3

Россыпи золота Порожисто-Гольцовского узла

Номер пп	Местоположение	Добыча, кг	Свойства золота		Сопровождающие минералы
			Форма золотин, размер и степень окатанности	Проба золота	
1	Р. Ажица		Пластинчатое и комковидное	815	Гидроксиды железа
2	Руч. Юбилейный		Таблитчатое, размер 0,5—1,0 мм; окатанность средняя	836 (787—885)	Магнетит, ильменит
3	Р. Утиная		Пластинчатое, дендритовидное, мелкое и средней крупности; окатанность средняя.	617 (581—664)	Магнетит, ильменит, шеелит (неокатанные зерна и обломки до 1см). Сростки с кварцем
4	Р. Камешковая и руч. Половинчик		Пластинчатое, таблитчатое и комковидное, мелкое и средней крупности; средней степени окатанности. Самородок 1580 мг.	848 (805—923)	Ильменит, магнетит, циркон, эпидот, шеелит. Сростки с кварцем
5	Р. Дальняя Гольцовка	80	Пластинчатое и чешуйчатое, мелкой и средней крупности; хорошо и средне окатанное	831 (790—872)	Магнетит, ильменит
6	Р. Средняя Гольцовка	27,5	Мелкое и средней крупности, пластинчатое и чешуйчатое; средней окатанности	822 (722—869)	Магнетит, ильменит
7	Р. Ближняя Гольцовка	14,5	Пластинчатое, чешуйчатое, комковидное и таблитчатое, мелкой и средней крупности	841 (837—846)	Магнетит, ильменит, зёрна платины угловато-окатанной шестиугольной формы

### Оруденение золотомедно-молибден-порфировой формации

Проявления золотомедно-молибден порфировой формации развиты в пределах двух потенциально рудных узлов — Хим-Кирганикского и Крутогоровско-Андреановского на северной окраине Камчатского срединного массива. Узлы приурочены к относительно опущенным (Хим-Кирганикский узел) или приподнятым (Крутогоровско-Андреановский узел) блокам, насыщенным субвулканическими интрузиями и дайками лавкинского гранодиоритового комплекса миоценового возраста.

**Хим-Кирганикский рудный узел** расположен в северо-восточной части КСМ. Площадь узла сложена породами кирганикской свиты мел-палеоценового возраста, прорванными интрузией и дайками лавкинского гранодиоритового комплекса миоценового возраста. В пределах узла находятся четыре проявления золотомедно-молибден-порфировой

формации: Позднее, Хим, Кирганикское и Туманное (табл. 4).

Проявления приурочены к субвулканическим интрузиям или дайкам диорит-порфиритов, гранодиоритов миоценового возраста, а также к контактам этих интрузий с вмещающими вулканитами ирунейской свиты. Рудоносными являются зоны, залежи или штокверки метасоматитов биотит-пироксен-калиевошпатового состава, иногда пропилиты с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением. Содержания меди меняются от 0,1 до 5,44 %, золота — от 0,1 до 20,7 г/т. Прогнозные ресурсы меди составляют сотни тыс. т, золота — до 93 т. Наиболее перспективными для проведения дальнейших поисковых и оценочных работ являются проявления Кирганикское, Позднее и Хим. Суммарные прогнозные этих проявлений составляют около 1,5 млн. т меди и около 100 т золота.

**Крутогоровско-Андреановский узел** расположен в северной части КСМ. Площадь узла сложена мета-

Таблица 4

Проявления золотомедно-молибден-порфировой формации Хим-Кирганикского узла [4, 10]

Номер пп	Проявление	Вмещающие породы	Метасоматиты	Содержание		Рудные минералы	Тип рудных тел	Ресурсы
				Au, г/т	Cu, %			
1	Позднее	Субвулканическая интрузия гранодиоритов миоцена	Биотит-ортоклазовые	0,2–20,7	До 5,44, среднее 1,0	Халькопирит, борнит, халькозин, ковеллин, малахит	Штокверк вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд	Cu – 336 тыс. т, Au – 9,2 т
2	Хим	Гранодиориты миоцена	Пропилиты	0,1–5,2	0,8	Халькопирит, борнит, пирит	Прожилково-вкрапленная зона	Cu – 310 тыс. т, Au – 7,8 т
3	Кирганикское	Вулканогенные породы верхнего мела, прорванные интрузией диорит-порфиритов миоцена	Биотит-калиевошпатовые	До 16,2	От 0,1 до 1	Халькопирит, борнит, халькозин, золото	Залежи вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд	Cu – 905 тыс. т, Au – 93 т
4	Туманное	Вулканогенные породы верхнего мела, прорванные гранодиоритами миоцена	Биотит-пироксен-калиевошпатовые	До 1,2	До 4,19	Халькопирит, малахит, халькозин, золото	Прожилково-вкрапленная зона	

Таблица 5

Проявления золотомедно-молибден-порфировой формации Крутогоровско-Андреановского узла [4, 10]

Номер пп	Проявление	Вмещающие породы	Метасоматиты	Содержание рудных элементов			Рудные минералы	Тип рудных тел	Ресурсы
				Au, г/т	Cu, %	Mo, %			
1	Малахитовое	Шток гранодиорит-порфиритов миоцена	Калиевошпатизация, серицитизация, хлоритизация и окварцевание		0,4–1	До 0,1	Пирит, халькопирит, магнетит, молибденит	Штокверк вкрапленных и прожилково-вкрапленных сульфидных руд	Cu – 1874 тыс. т, Mo – 56 тыс. т, Au – 16 т
2	Квахона	Гранодиориты, кварцевые диориты миоцена	Окварцевание, хлоритизация, пиритизация	0,1–0,9	До 1	0,002–0,004	Пирит, магнетит, халькопирит, молибденит	Штокверк вкрапленных сульфидных руд	
3	Андреановское	Гранодиориты миоцена	Окварцевание	До 0,2	До 1		Пирит, халькопирит, молибденит	Жильно-прожилковый штокверк	4
4	Право-Хейанское	Гранодиориты миоцена	Пропилитизация, окварцевание	До 3,7	0,05–1,72	0,01–0,1	Халькопирит, борнит, ковеллин, молибденит	Штокверк прожилково-вкрапленных руд	

морфическими породами верхнего протерозоя, прорванных интрузиями лавкинского комплекса миоцена. Центральную часть узла занимают вулканы хангарского андезидацитового комплекса четвертичного возраста, слагающие вулканическое сооружение Хангар. В пределах узла находятся четыре проявления золотомедно-молибден-порфировой формации: Малахитовое, Квахона, Право-Хейванское и Андриановское (табл. 5).

Вмещающими породами являются субвулканические интрузии гранодиоритов, андезитов и диоритовых порфиритов мел-палеоценового и миоценового возрастов. Рудные тела представлены штокверками, редко зонами прожилково-вкрапленной сульфидной или кварц-сульфидной минерализации. Из рудных минералов отмечаются халькопирит, пирит, молибденит, реже халькозин, ковеллин, борнит, магнетит. Содержание меди колеблется от 0,4–0,8 % (проявления Хим и Малахитовое) до 1 %; максимальное — до 5,44 % отмечается в проявлении Позднее. Концентрация молибдена составляет 0,1 % в рудопроявлениях Малахитовое и Право-Хейванское, в остальных ниже. Золото содержится в количествах от 0,1 до 0,2, достигая 3,7 г/т (проявление Право-Хейванское), 5,2 г/т (Хим) и 20,7 г/т (Позднее). Наблюдается отчетливая тенденция увеличения концентрации золота при высокой медистости руд. Наибольший интерес для постановки дальнейших поисково-оценочных работ представляет рудопроявление Малахитовое, прогнозные ресурсы которого составляют: медь — 1874 тыс. т, молибден — 56 тыс. т и золото — 16 т.

#### Золотоносность медно-никелевого оруденения КСМ

Золото в качестве попутного компонента отмечается в медно-никелевых рудах месторождения Шануч и ряда проявлений (Геофизическое, Аннабергитовая Щель, Квинум и др.). В медно-никелевых рудах месторождения Шануч среднее содержание золота в массивных рудах составляет 0,3 г/т, а во вкрапленных и прожилково-вкрапленных — 0,2 г/т. Запасы металла оцениваются в 488 кг, а прогнозные ресурсы в 2 т [4]. Самородное золото встречается в рудах месторождения крайне редко. В густовкрапленных (участками массивных) медно-никелевых рудах оно наблюдалось по микротрещинкам в виде идиоморфных микрокристалликов среди пентландита (замещенного виоларитом) и герсдорфита (рис. 2). Размеры зёрен не превышают 2–3 микрон. По химическому составу оно высокопробное. Вариации содержаний серебра — от 9,94 до 12,41 вес. %, т. е. проба золота в пределах 875,9–900,6 ‰ [11].

В рудах медно-никелевых проявлений содержания золота находятся на уровне нескольких десятых долей грамма на тонну: Аннабергитовая Щель — 0,25, Мокушка — 0,128, Кувалорог — до

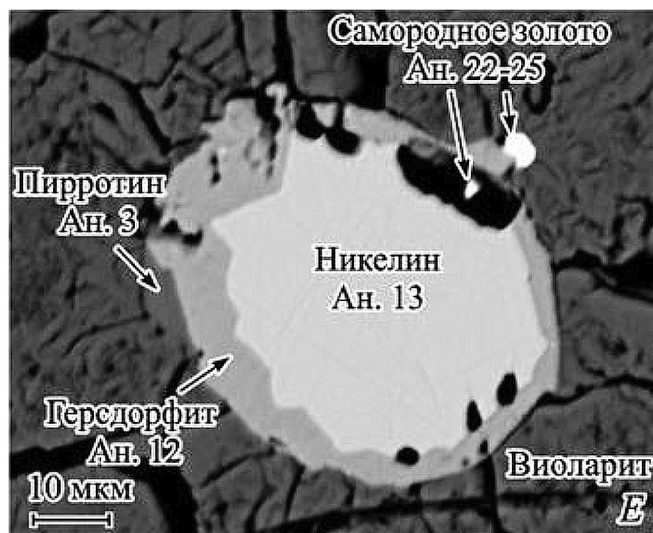


Рис. 2. Идиоморфные микрокристаллы самородного золота в медно-никелевых рудах месторождения Шануч; фото выполнено на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8100 в отраженных электронах

2,0. Прогнозные ресурсы золота (в т) равны: рудопроявление Кортландитовое — 1,7, Ясное — 2,1, Дукук — 7,3т, Перевальное — 37 [4].

#### Обсуждение результатов

В вулканогенных поясах Камчатки преобладает золотое оруденение вулканогенной золотосеребряной формации, широко развито также ртутное оруденение телетермальной кварц-диккитовой и опалит-алунитовой вулканогенной формации. В отличие от них в пределах КСМ кроме сульфидного медно-никелевого широко развито золотое оруденение золотокварцевой, золотосульфидно-кварцевой и золотомедно-молибден-порфировой формаций, присутствуют россыпи золота. Приведенный в статье материал показывает, что на площади КСМ выделяется потенциальный Срединно-Камчатский золотоносный район. В нём находятся пять потенциальных золотоносных узлов, в трёх из них присутствуют проявления и точки минерализации золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, а также россыпи золота, в остальных двух — проявления и точки минерализации золотомедно-молибден-порфировой формации. К золотосодержащим относятся месторождение Шануч и проявления сульфидной медно-никелевой формации.

Выделено два этапа формирования золотого оруденения. В первый позднемеловой этап было сформировано оруденение золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций. По мнению ряда исследователей, оно парагенетически связано с внедрением гранитоидных интрузий кольского комплекса позднемелового возраста [1, 8, 10]. Во второй этап проявилось золотомедно-молибден-порфиоровое оруденение, генетически связанное с

субвулканическими интрузиями и дайками гранодиоритов, диорит-порфиритов лавкинского комплекса неогенового возраста [8]. Золотосодержащее сульфидное медно-никелевое оруденение генетически связано с интрузиями, дайками и силлами дукукского базит-гипербазитового интрузивного комплекса. Изотопный возраст никеленосных интрузий в пределах Шанучского и Кувалорогского рудных узлов оценивается нами как эоценовый [12, 13].

Таким образом, в КСМ выделяются три минерогенические эпохи, совпадающие по времени с формированием крупных интрузивных комплексов: кольского (позднемиоценовая эпоха), дукукского (палеоцен) и лавкинского (миоцен). С позднемиоценовой эпохой связано формирование оруденения золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций (проявления Крутогоровского, Юртинского и Порожисто-Гольцовского узлов). Золотосодержащее медно-никелевое оруденение генетически соответствует формированию в палеоцене основных-ультраосновных интрузий дукукского комплекса (Шанучский и Кувалорогский узлы). Миоценовая эпоха ознаменовалась становлением проявлений золотомедно-молибденовой формации (Хим-Кирганикский и Крутогоровско-Андриановский узлы).

В размещении золотоносных рудных узлов наблюдаются определённые закономерности. Золотосодержащее медно-никелевое оруденение приурочено к северной (Шанучский узел) и южной (Дукукский узел) относительно опущенным окраинам срединного массива. Они сложены главным образом терригенными и сланцевыми толщами мелового возраста, перекрывающими метаморфические толщи фундамента массива. В отличие от них рудные узлы, вмещающие оруденение золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций приурочены как к относительно опущенным окраинам срединного массива (Крутогоровский и Порожисто-Гольцовский узлы), так и к относительно поднятым блокам, сложенным метаморфическими толщами (Юртинский узел). Рудные узлы с золотомедно-молибденовым оруденением расположены в северной части срединного массива, как в относительно опущенном блоке (Хим-Кирганикский узел),

так и в относительно поднятом (Крутогоровско-Андриановский узел).

Золотое оруденение КСМ, в отличие от медно-никелевого, недостаточно полно изучено. Не доизучены фланги и глубокие горизонты большинства проявлений золота, слабо исследованы и россыпи. Наиболее перспективны на выявление крупных месторождений проявления золотосульфидно-кварцевой (Дождливое и Утинское), а также золотокварцевой (Восточное и Гранитное) формаций. На выявление крупнообъёмных месторождений комплексных золотомедно-молибденовых руд в первую очередь перспективны проявления Кирганикское, Позднее, Хим и Малахитовое. На поиски крупных россыпей перспективна площадь Порожисто-Гольцовского узла.

### Заключение

В результате анализа золотоносности Камчатского срединного массива установлено, что в его пределах кроме сульфидного медно-никелевого широко развито золотое оруденение золотокварцевой, золотосульфидно-кварцевой и золотомедно-молибден-порфириновой формаций, а также россыпи, сформированные за счёт разрушения оруденения золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций. Они образуют потенциальный Срединно-Камчатский золотоносный район. В нём находятся пять потенциальных золотоносных узлов. В Крутогоровском, Юртинском и Порожисто-Гольцовском преобладает оруденение золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, а также россыпи золота. В Хим-Кирганикском и Крутогоровско-Андриановском развито оруденение золотомедно-молибден-порфириновой формации, россыпи золота отсутствуют. Перспективы выявления промышленных месторождений золота связаны с доизучением проявлений золотосульфидно-кварцевой (Дождливое и Утиное), а также золотокварцевой (Восточное, Гранитное) формаций. Месторождения комплексных золотомедно-молибденовых руд могут быть выявлены при доизучении проявлений Кирганик, Хим, Позднее и Малахитовое. На выявление новых крупных и богатых россыпей перспективна площадь Порожисто-Гольцовского узла.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Боровцов А.К., Сидоренко В.И., Шенко В.И. и др. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200 000. Лист N-57-XX. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ. 2016. 147 с.
2. Боровцов А.К., Ярыш Г.В., Бархатов Ю.В. и др. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200 000. Лист N-57-XXVI. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ. 2013. 181 с.
3. Геология СССР. Т. XXXI. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 733 с.
4. Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1: 500 000. Краткая объяснительная записка / Гл. ред. А.Ф. Литвинов, М.Г. Патока, Б.А. Марковский. СПб.: ВСЕГЕИ. 1999. 563 с.
5. Корякско-Камчатский регион — новая платиноносная провинция / Е.Ю. Вильданова, В.П. Зайцев, Л.И. Кравченко и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2002. 383 с.
6. Кунгурова В.Е., Степанов В.А., Трухин Ю.П. Медно-никелевое рудопроявление Аннабергитовая Щель Камчатской никеленосной провинции // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 52. С. 324–333.
7. Некрасов Е.Г. Тектоническая природа Камчатско-Корякского региона и вопросы геодинамики складчатого обрамления Тихого океана // Геотектоника. 2003. № 6. С. 53–79.

8. Сидоренко В.И., Селиванов М.Т., Лисович В.А. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200 000. Лист N-57-XIV. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 1999. 159 с.
9. Сидоров М.Д., Степанов В.А. Геофизические поля и никеленосность Камчатского срединного массива // Вестник КРАУНЦ. 2006. № 8. С. 140–150.
10. Сляднев Б.И., Шаповаленко В.Н. и др. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:1000 000. Серия Корякско-Камчатская. Лист N-57. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 187 с.
11. Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П., Кунгурова В.Е. и др. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Записки РМО. 2010. Ч. 139. Вып. 2. С. 43–58.
12. Трухин Ю.П., Степанов В.А. Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // Доклады академии наук. 2008. Т. 418. № 6. С. 802–805.
13. Трухин Ю.П., Сидоров М.Д., Степанов В.А., Кунгурова В.Е. Строение и никеленосность Кувалорогского базит-ультрабазитового массива // Известия вузов. Геология и разведка. 2009. № 6. С. 43–49.
14. Щеглов А.Д. Металлогения срединных массивов. Л.: Недра. 1971. 148 с.
15. Яншин А.Л. Проблема срединных массивов // Бюл. МОИП. Сер. Геол. 1965. Т. 40. № 5. С. 8.

## REFERENCES

1. Borovtsov A.K., Sidorenko V.I., Shchenko V.I. i dr. *State geological map of the Russian Federation m-ba 1: 200 000. Sheet N-57-XX. Explanatory note.* M., MF VSEGEI Publ., 2016, 147 p. (In Russian)
2. Borovtsov A.K., Yarysh G.V., Barkhatov YU.V. i dr. *State geological map of the Russian Federation m-ba 1: 200 000. Sheet N-57-XXVI. Explanatory note.* M., MF VSEGEI Publ., 2013, 181 p. (In Russian)
3. Geology of the USSR. T. XXXI. *Geological description.* M., Nedra Publ., 1964, 733 p. (In Russian)
4. Map of mineral resources of the Kamchatka region m-ba 1: 500 000. Brief explanatory note. Ch. ed. A.F. Litvinov, M.G. Treacle, B.A. Markovskiy. Spb., VSEGEI Publ., 1999, 563 p. (In Russian)
5. Koryak-Kamchatka region — a new platinum-bearing province. E.Yu. Vildanova, V.P. Zaitsev, L.I. Kravchenko et al. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2002, 383 p. (In Russian)
6. Kungurova V.E., Stepanov V.A., Trukhin YU.P. Copper-nickel ore manifestation Annabergitic Scape of Kamchatka Nickel-bearing Province. *Mining information and analytical bulletin*, 2014, no. 52, pp. 324–333. (In Russian)
7. Nekrasov E.G. The Tectonic Nature of the Kamchatka-Koryak Region and the Geodynamics of the Folded Frame of the Pacific Ocean. *Geotectonics*, 2003, no 6, pp. 53–79. (In Russian)
8. Sidorenko V.I., Selivanov M.T., Lisovich V.A. State geological map of the Russian Federation m-ba 1: 1000 000. Series Koryak-Kamchatka. Sheet N-57. *Explanatory note.* Spb., VSEGEI Publ., 2007, 187 p. (In Russian)
9. Sidorov M.D., Stepanov V.A. Geophysical fields and nickel content of the Kamchatka middle massif. *Vestnik KRAUNC*, 2006, no. 8, pp. 140–150. (In Russian)
10. Slyadnev B.I., Shapovalenko V.N. i dr. State geological map of the Russian Federation m-ba 1: 1000 000. Series Koryak-Kamchatka. Sheet N-57. *Explanatory note.* Spb., VSEGEI Publ., 2007, 187 p. (In Russian)
11. Stepanov V.A., Gvozdev V.I., Trukhin YU.P., Kungurova V.E. i dr. Minerals of noble and rare metals in the ores of the Shanuchsky copper-nickel deposit (Kamchatka). *Notes of the Russian Mineralogical Society*, 2010, Part 139, Vol. 2, pp. 43–58. (In Russian)
12. Trukhin YU.P., Stepanov V.A. Sidorov M.D. Kamchatka Nickel-bearing Province. *Reports of the Academy of Sciences*, 2008, Vol. 418, no. 6, pp. 802–805. (In Russian)
13. Trukhin YU.P., Sidorov M.D., Stepanov V.A., Kungurova V.E. The structure and nickel content of the Kuvallor basit-ultrabasite massif. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2009, no. 6, pp. 43–49. (In Russian)
14. Shcheglov A.D. Metallogeny of median massifs. L., Nedra Publ., 1971, 148 p. (In Russian)
15. Yanshin A.L. The problem of median arrays. *Bull. MOIP Ser. Geol*, 1965, T. 40, no 5, 8 p. (In Russian)

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ  
GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

УДК 550.82:622.24

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ  
МЕТОДОМ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОБЕТОНОМ**

*О.А. ВОЛКОВА<sup>1</sup>, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ<sup>2</sup>, С.В. ИЛЯХИН<sup>2</sup>, А.П. НАЗАРОВ<sup>2</sup>*

*1000 «Мосинжиниринг Групп»  
корп. 2, д. 9, Петрозаводская улица, г. Москва 125502, Россия  
e-mail: volk\_olg@mail.ru*

*<sup>2</sup>ФГБУВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117977, Россия  
e-mail: arsentev1956@yandex.ru*

Одним из наиболее эффективных приёмов при геотехническом строительстве в условиях городской среды, позволяющий в короткие сроки и с минимальным ущербом обеспечить стабилизацию горных пород и исключить попадание воды в горные выработки, является струйная технология (Jet Grouting) закрепления грунтов. Но её широкое применение сдерживается отсутствием методологии выбора соотношения объёмов закрепляемого пространства к незакрепленному, что существенно затрудняет назначение проектных характеристик системы горная выработка—закрепляемый массив. С целью определения их величин проведено математическое моделирование системы горная выработка—закрепляемый массив. В качестве исходных данных приняты инженерно-геологические условия, типичные для центральной части г. Москвы. Обоснованы расчётные параметры системы горная выработка—закрепляемый массив при проходке подземной выработки круглого сечения в слабых грунтах с использованием их опережающего закрепления грунтобетонном.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** слабые грунты; грунтобетон; упруго-пластическая модель; коэффициент повышения характеристики пластичности грунтов; условная закладка; горная выработка.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-54-59

**INCREASING THE STABILITY OF UNDERGROUND MINING USING  
THE METHOD OF ADVANCED FASTENING OF SOIL-CONCRETE**

*O.A. VOLKOVA<sup>1</sup>, YU.A. ARSENTYEV<sup>2</sup>, S.V. ILAYKHIN<sup>2</sup>, A.P. NAZAROV<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>LLC «Mosinzhiniring Group»  
building 2, house 9, Petrozavodskaya street, Moscow 125502, Russia  
e-mail: volk\_olg@mail.ru*

*<sup>2</sup>Russian State Geological Prospecting University  
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia  
e-mail: arsentev1956@yandex.ru*

One of the most effective methods in the geotechnical construction at the urban conditions, which allows providing the stabilization of the rocks and elimination of the ingress of water into the mine workings, in a short time and with minimal damage, is the jet technology (JetGrouting) of fixing of the soils. But with all advantages of JetGrouting

technology, its wide application is constrained by the lack of the methodology for choosing the ratio of the fixed space volume to the unfixed, which significantly complicates the appointment of design characteristics of the system «mine working-massif of rocks to be fixed». In this regard, it was necessary to carry out the mathematical modeling of the parameters of this system. Engineering-geological conditions typical for the central part of Moscow have been accepted as initial data. The substantiation of design parameters of the system during the penetration of mining with round section in weak soils by their advanced fixing by a grouting has been presented.

**К е у в о р д с:** weak soils; soil concrete; elastic-plastic model; limited plastic deformation without destruction; coefficient of increase of characteristics of plasticity of soils; conditional filling; mining.

К настоящему времени разработан ряд технологических приёмов, позволяющих производить геотехнические строительные работы в сложных инженерно-геологических условиях. К таким приёмам следует отнести: замораживание, силикатизацию, цементацию или смолизацию [4] и струйную технологию (Jet Grouting) закрепления грунтов [3]. Причем последняя в условиях плотной городской застройки даёт возможность в короткие сроки и с минимальным ущербом для жилых зданий и сооружений, имеющих культурно-историческое значение, обеспечить устойчивость горных пород и исключить проникновение грунтовых вод в горные выработки. Сущность струйной технологии заключается в изменении прочностных свойств массива грунтов путём воздействия на него изливающейся из сопла форсунки высокоскоростной суспензионной водоцементной струи, вращающейся в плоскости, перпендикулярной к оси предварительно пробуриваемой до проектной отметки скважины, с одновременным перемещением форсунки, обратным ходом, вдоль этой оси до следующей проектной отметки без создания в массиве избыточного давления. В результате разрушения и перемешивания грунтов суспензионной струей формируется закреплённый породный массив цилиндрической формы заданной длины, состоящий из нового материала — грунтобетона. По составу получаемый грунтобетон может быть близок к мелкозернистым бетонам, особенно если разрушаемый грунт представлен песчаными разностями, что характерно для условий строительства в г. Москве. При всех достоинствах технологии Jet Grouting её применение сдерживается отсутствием методологии выбора соотношения между закрепляемым и незакреплённым объёмами породного массива, что существенно затрудняет назначение расчётных параметров и проектных характеристик системы горная выработка — закрепляемый массив [5]. Для установления их величины проведено математическое моделирование системы горная выработка—закрепляемый массив. В качестве исходных данных приняты инженерно-геологические условия, характерные для центральной части г. Москвы.

Однако проходка выработки по указанной технологии подразумевает полное изменение прочностных свойств грунта всего массива, что при-

водит в дальнейшем к значительным энергетическим затратам, связанным как с повышенным объёмом закрепляемого пространства, так и с последующим процессом разрушения грунтов, приобретающих в соответствии с принятой технологией высокие механические характеристики, в том числе и в пределах контура будущей горной выработки.

С целью снижения энергозатрат на проведение горной выработки с использованием струйной технологии предлагается выполнять ограниченное по объёму массива изменение механических свойств грунтов, т. е. процедуру закрепления только для тех грунтов, которые окружают контур будущей выработки.

Таким образом, формируется массив с изменёнными свойствами, охватывающий пространство, заполненное слабыми грунтами, выполняющими роль условно опережающей закладки. Если предположить, что грунты с изменёнными механическими свойствами в окружении выработки, обладающие как внутренним трением  $\varphi$ , так и сцеплением  $C$ , представляют упругопластический массив, соответствующий модели Н.С. Булычева (рис. 1, а.) и характеризуемый графиком (рис. 1, б.), то его разрушению будет предшествовать некоторая пластическая деформация, протекающая с определённой скоростью. Отпор, создаваемый «условно опережающей закладкой», представленный на модели в виде внутреннего давления  $p$ , распределённого равномерно по контуру выработки радиуса  $r_0$ , будет выступать в качестве силового фактора, замедляющего процесс распространения пластической деформации и отдаляющего начальный момент образования зоны разрушения.

В случае действия внутреннего давления  $p$ , достаточное условие исчерпания прочности грунта будет иметь следующий вид [1]:

$$\varepsilon_0^{(p)} = \varepsilon_c^{(p)}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_c^{(p)}$  — общая предельная деформация грунтов;  $\varepsilon_0^{(p)}$  — предельная пластическая деформация.

При этом предельная пластическая деформация  $\varepsilon_0^{(p)}$  при наличии внутреннего давления  $p$  может быть определена из выражения следующего вида [1, 2]:

$$\varepsilon_0^{(p)} = \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{2G} \left( \frac{r_e}{r_0} \right)^2 \sin \varphi, \quad (2)$$

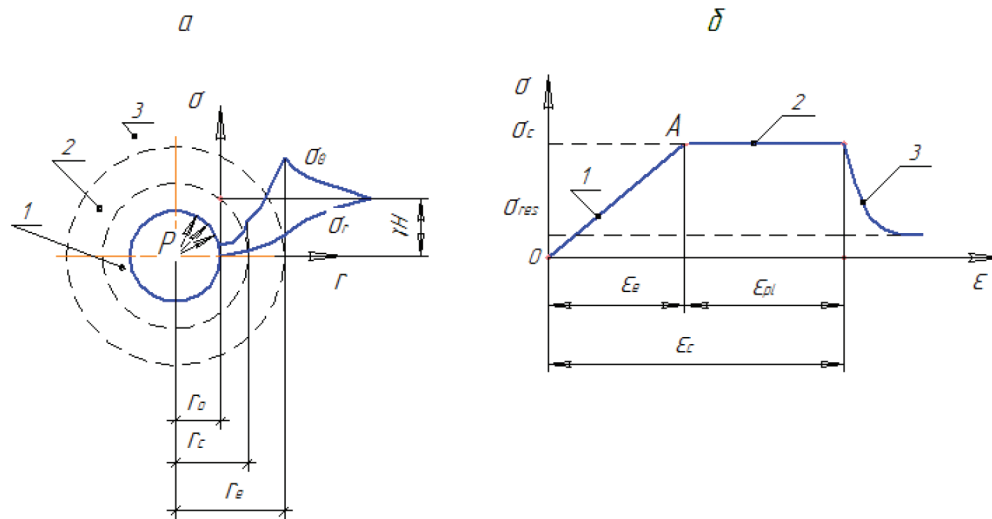


Рис. 1. Схема (а) и диаграмма напряжений (б) упругопластической модели с ограниченной пластической деформацией массива с горной выработкой: 1 – зона упругих деформаций; 2 – зона пластических деформаций, протекающих без разрушения; 3 – зона разрушения, характеризующая постепенным снижением сопротивления

где  $\gamma$  — удельный вес грунтов, Н/м<sup>3</sup>;  $H$  — глубина заложения выработки, м;  $G$  — модуль сдвига, МПа.

Относительный радиус границы зоны пластических деформаций  $\frac{r_e}{r_0}$ , входящий в состав выраже-

ния (2), можно найти с помощью дифференциального уравнения равновесия для массива грунтов, который моделируется невесомой упругопластической средой, характеризующейся для упрощения решения только внутренним трением  $\varphi$ :

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0. \quad (3)$$

При этом соотношение между нормальными радиальным и тангенциальным напряжениями  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  в зоне пластических деформаций определяется условием предельного состояния вида (согласно теории Кулона-Мора):

$$\sigma_\theta = \sigma_c + \beta\sigma_r, \quad (4)$$

где  $\beta = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$  — параметр объёмной прочности,

которое с учётом принятого допущения ( $\sigma_c = 0$ ) принимает следующий вид

$$\sigma_\theta = \beta\sigma_r. \quad (5)$$

Подставив соотношение (5) в уравнение (3) и разделив переменные, имеем.

$$\frac{d\sigma_r}{\sigma_r} = (\beta - 1) \frac{dr}{r}, \quad (6)$$

Проинтегрировав выражение (6), получим

$$\ln \sigma_r = (\beta - 1) \ln r + \ln C_1$$

или

$$\sigma_r = C_1 r^{\beta-1}.$$

Постоянную интегрирования  $C_1$  найдём из условия, что на контуре сечения выработки (при  $r = r_0$ )  $\sigma_r = p$ . Тогда с учётом (7)

$$C_1 = \frac{p}{r_0^{\beta-1}}. \quad (8)$$

Таким образом, в зоне пластических деформаций напряжения с учётом сцепления  $C$  характеризуются зависимостями вида:

$$\begin{cases} \sigma_r = (p + C \operatorname{ctg} \varphi) \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta-1}; \\ \sigma_\theta = \beta(p + C \operatorname{ctg} \varphi) \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta-1}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } \beta - 1 = \alpha = \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}.$$

Далее воспользуемся условием непрерывности напряжений на границе между пластической и упругой зонами при  $r = r_e$ , где напряжения одновременно определяются как по законам теории упругости, так и по теории пластичности (рис. 1, б, точка А).

В связи с этим для точек на границе пластической и упругой областей должны быть, во-первых, справедливы соотношения (9), во-вторых, напряжения  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  должны удовлетворять первому варианту тензора напряжений упругости (для упругой зоны), имеющего вид:

$$\sigma_r + \sigma_\theta = 2(\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi) = \text{const}. \quad (10)$$

Подставляя в (10) значения напряжений (9) и выполняя простейшие преобразования, получим выражение, определяющее относительный радиус границы зоны пластических деформаций:

$$\frac{r_e}{r_0} = \left[ \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (11)$$



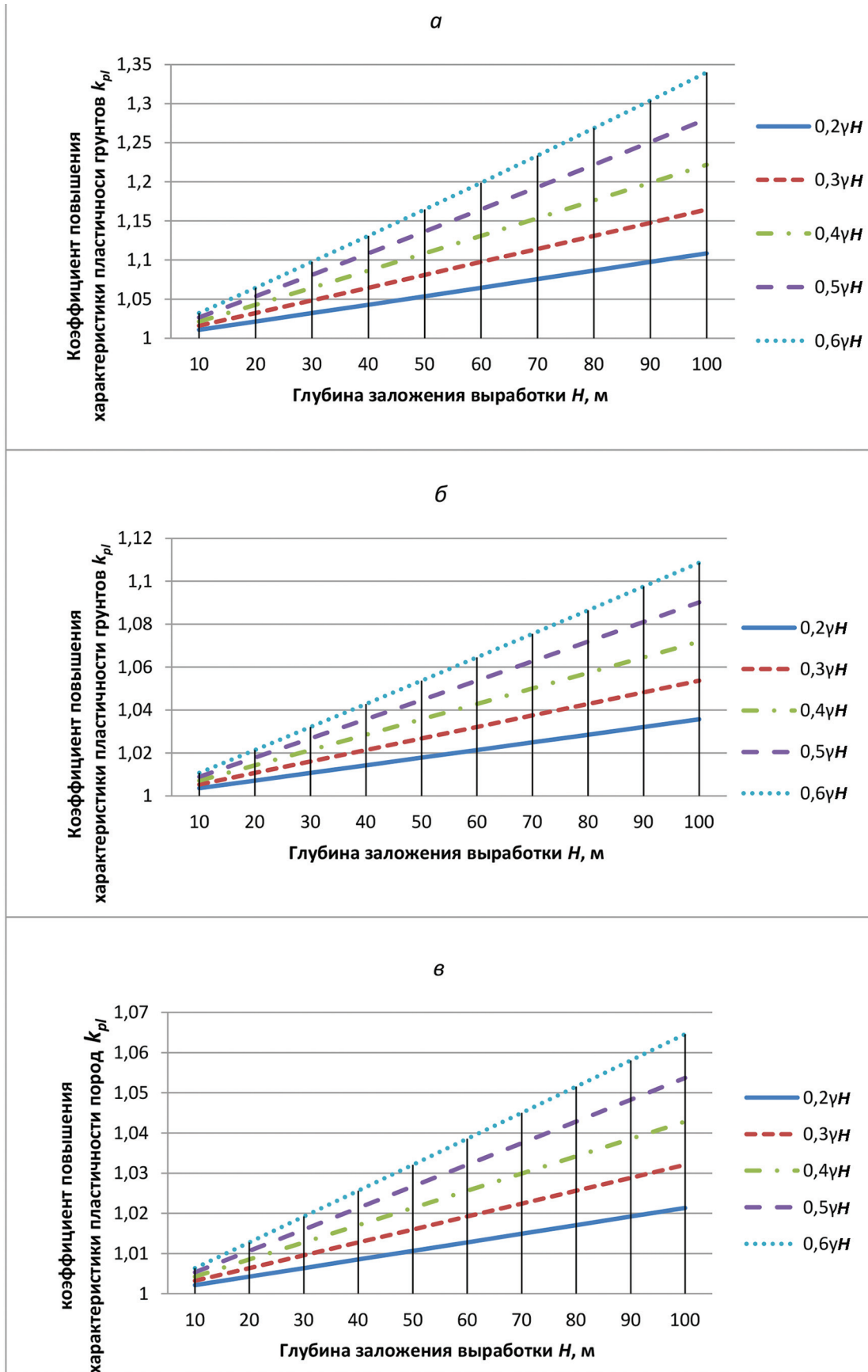


Рис. 2. Зависимости величины коэффициента повышения характеристики пластичности грунтов  $k_{pl}$  от глубины заложения выработки  $H$ , при различных значениях  $C$ , МПа: а – 6, б – 18, в – 30 при  $\gamma = 0,026 \text{ МН/м}^3$ ;  $\varphi = 35^\circ$

Тогда после подстановки в выражение (2) результата (11) предельная пластическая деформация с учётом внутреннего давления на контур выработки будет равна:

$$\varepsilon_{\theta}^{(p)} = \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{2G} \left[ \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{2}{a}} \sin \varphi \quad (12)$$

а условие истощения прочности, в соответствии с (1), принимает вид:

$$\frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{2G} \sin \varphi \left[ \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{2}{a}} = \varepsilon_c^{(p)} \quad (13)$$

Преобразуем левую часть равенства (13) следующим образом:

$$\begin{aligned} & \frac{C \cos \varphi}{2G(1 - \sin \varphi)} \left[ \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{C \operatorname{ctg} \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{1}{\sin \varphi}} \left[ \frac{C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{2}{a}} = \\ & = \varepsilon_e^0 \Pi_{\varepsilon} = \left[ \frac{C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{2}{a}} = \varepsilon_c^{(0)} \left[ \frac{C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{2}{a}}, \end{aligned}$$

где  $\left[ \frac{\gamma H + C \operatorname{ctg} \varphi}{C \operatorname{ctg} \varphi} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{1}{\sin \varphi}} = \Pi_{\varepsilon}$  — характеристика пластичности грунтов при отсутствии внутреннего давления.

Тогда

$$\varepsilon_c^{(p)} = \left[ \frac{C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{2}{a}} = \varepsilon_c^{(0)}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon_c^{(0)}$  — общая предельная деформация грунтов при отсутствии внутреннего давления.

Из (14) следует, что множитель  $\left[ \frac{C \operatorname{ctg} \varphi}{p + C \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{2}{a}}$ , будет представлять собой параметр замедления процесса распространения пластической деформации. Величина обратная ему будет соответственно коэффициентом повышения характеристики пластичности грунтов, окружающих выработку, который с учётом введённого обозначения  $k_{pl}$  будет определяться, как

$$k_{pl} = \left[ \frac{p + C \operatorname{ctg} \varphi}{C \operatorname{ctg} \varphi} \right]^{\frac{(1 - \sin \varphi)}{\sin \varphi}} \quad (15)$$

Тогда коэффициент повышения устойчивости  $k_s$ , входящий в состав критерия устойчивости грунтов вида  $\gamma H k_{\sigma} \leq k_s \sigma_c$ , для предлагаемой технологии проходки горной выработки, будет определяться, с учётом (15), по формуле вида:

$$k_s = 1 + \frac{1}{\sin \varphi} [k_{pl} \Pi_{\varepsilon}^{\sin \varphi} - 1] \quad (16)$$

Из формулы (16) следует, что увеличение внутреннего давления  $p$ , при прочих равных условиях, приводит к повышению устойчивости грунтов, окружающих выработку.

Для количественной оценки влияния «условно опережающей закладки» на устойчивость грунтов, окружающих подземную горную выработку круглого сечения, определим численные значения коэффициента повышения характеристики пластичности грунтов для различных внешних условий.

Для этой цели в качестве исходных значений параметров, составляющих формулу (15), примем  $\gamma = 0,026$  МН/м<sup>3</sup>;  $\varphi = 35^\circ$ ;  $p = k_p \gamma H$  ( $k_p = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ );  $H = 10, 20, 30, \dots, 100$  м;  $C = 6$  МПа; 18 МПа; 30 МПа.

### Выводы

По результатам вычислений построены графические зависимости (рис. 2).

Анализ которых позволяет заключить следующие выводы:

1. При постоянной глубине заложения выработки  $H$  наблюдается рост величины коэффициента повышения характеристики пластичности грунтов  $k_{pl}$  пропорционального величине отпора  $p$ , создаваемого «условно опережающей закладкой». Так, при  $H = 100$  м рост соответственно составляет при  $C = 6$  МПа — 14,88%; при  $C = 18$  МПа — 5,6%; при  $C = 30$  МПа — 3,46%.

2. При постоянной величине отпора  $p$  отмечается увеличение коэффициента повышения пластичности грунтов  $k_{pl}$ , пропорциональное росту глубины заложения выработки  $H$ . Например, при  $p = 0,6 \gamma H$  рост  $k_{pl}$  составляет при  $C = 6$  МПа — 28%; при  $C = 18$  МПа — 9,2%; при  $C = 30$  МПа — 5,47%.

3. Наибольший эффект от замедления процесса распространения пластической деформации проявляется в грунтах, характеризующихся малым сцеплением ( $C = 6$  МПа).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений М.: Недра, 1989. 270 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов М.: Недра, 1980. 360 с.
3. Гришко Д.А. Обоснование технологических параметров струйной цементации песчаных грунтов М.: Горная книга, 2018. 23 с.
4. Ибрагимов М.Н., Семкин В.В., Шапошников А.В. Цементация грунтов инъекцией растворов в строительстве М.: АСВ, 2017. 265 с.
5. Черняков А.В. Применение инновационных разработок при строительстве тоннелей в сложных градостроительных и инженерно-геологических условиях//Метро и тоннели. 2011. № 3. С. 8–12.

REFERENCES

1. Bulychev N.S. *Mechanica of podzemnich soorugeny*. M., Nedra Publ, 1989, 270 p. (in Russian)
  2. Borisov A.A. *Mechanica gorniy porod i massivov*. M., Nedra Publ, 1980, 360 p. (in Russian)
  3. Grishko D.A. *Substantiation of technological parameters of jet cementation of sandy soils*. M., Gornaya kniga Publ, 2018, 23 p.
  4. Ibragimov M.N., Semkin V.V., Shaposhnikov A.V. *Cementation of soils by injection of solutions in construction*. M., ACB Publ, 2017, 265 p.
  5. Chernyakov A.V. Application of innovative developments in the construction of tunnels in complex urban planning and engineering-geological conditions. *Metro and tunnels*, 2011, no 3, pp. 8–12.
-

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ  
GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 550.371.4 519.632.4

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ  
ПОСРЕДСТВОМ ГЛОБАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

*Н.А. СЕВОСТЬЯНОВ, М.Н. ЮДИН*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: sevostyanovnk@yandex.ru, yudinmn@gmail.com*

Обсуждается решение трёхмерной задачи геоэлектрики на постоянном токе. Решение задачи строится на основе глобальной декомпозиции (ГДАМ). Алгоритм заключается в итерационной реконструкции решения из двух базисных элементов — поля точечного источника в слоистой (фоновой) среде и решения в локальной вставке. В качестве фоновой (нормальной) модели используется горизонтально-слоистая среда, в одном из слоёв которой расположен точечный источник постоянного тока. Фоновая среда содержит ограниченное включение с достаточно произвольным распределением удельного электрического сопротивления. Задача состоит в изучении влияния вставки на нормальное поле. Работа алгоритма решения задачи проиллюстрирована на примере однородного полупространства (трёхслойная горизонтально-слоистая среда с одинаковой проводимостью слоёв). Точечный источник расположен в первом слое. Второй слой содержит однородное локальное тело (прямоугольный параллелепипед или конечный цилиндр). Решения задач Дирихле для уравнения Лапласа в этих телах известны. Для повышения точности вычислений в параллелепипеде потребовалось несколько изменить алгоритм расчёта потенциала. Ускорение расчётов обеспечили вычисления коэффициентов Фурье с использованием прямого дискретного синус-преобразования. На основе приведённых в работе алгоритмов разработаны программы расчёта потенциала в локальных телах и выполнены численные эксперименты, позволившие графически представить результаты расчётов и сделать оценку точности вычислений.

Ключевые слова: прямые задачи; модели геоэлектрики; многомасштабное моделирование; глобальная декомпозиция; метод Шварца; метод итераций.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-60-66

TO THE SOLUTION OF GEOELECTRIC PROBLEM ON A DIRECT  
CURRENT BASED ON THE GLOBAL DECOMPOSITION

*N.A. SEVOSTIANOV, M.N. YUDIN*

*Russian State Geological Prospecting University  
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia  
e-mail: yudinmn@gmail.com, sevostyanovnk@yandex.ru*

The solution of a three-dimensional problem of geoelectric on a direct current is discussed. The solution of this task is constructed on the basis of global decomposition (GDAM). The algorithm consists in iterative reconstruction of the decision from two basic elements — field of a point source in the layered (background) environment and solution in

a local insertion. As a background (normal) model, the horizontally layered environment is used, in one of layers of which the point source of direct current is located. The background environment contains limited inclusion with enough arbitrary distribution of specific electrical resistance. The problem consists in studying of influence of an insertion on the normal field. The work of the algorithm of the solution of a task is illustrated on the example of a homogeneous half-space (the three-layer horizontally layered environment with identical conductivity of layers). The point source is located in the first layer. The second layer contains a homogeneous local body (a rectangular parallelepiped or a finite cylinder). Solutions of tasks of Dirikhle for Laplace's equation in these bodies are known. For the improving of the accuracy of calculations in a parallelepiped, the little change of an algorithm of calculation of potential was needed. Acceleration of calculations was provided by the calculations of Fourier coefficients with the use of direct discrete sine transformation. On the basis of the algorithms given in the work, the programs of calculation of potential in local insertions are developed and the numerical experiments which allowed presenting graphically calculation results and making assessments of accuracy of calculations, are executed.

Keywords: direct problem; models of geoelectrics; multiscale modeling; global decomposition; Schwarz's method; the iterative solution.

### Постановка задачи

Иллюстрация различных аспектов декомпозиционного метода выполнена на примере полуаналитического решения трёхмерной задачи ВЭЗ. Классификация масштабов (уровней) декомпозиции приведена в [8].

Глобальная декомпозиция (рис. 1). Декомпозиционный альтернирующий метод (ДАМ) самого грубого масштаба, приводящий к необходимости последовательного автономного решения *внутренней* (в ограниченной области  $D$ ) и *внешней* (в неограниченной области  $\Omega$ ) краевых задач, получил название глобального ДАМ (ГДАМ) [8]. ГДАМ нацелен на численное моделирование аномальных электромагнитных (ЭМ) полей в фоновых (как правило, *неограниченных*) моделях среды, содержащих неоднородные по физическим свойствам локальные тела<sup>1</sup>.

Модель  $a$  предполагает последовательное решение задач в пересекающихся областях  $\Omega$  (с гра-

ницей  $\partial\Omega$ ) и  $D$  (с границей  $\partial D$ ) [2, 8]. Решение в ограниченной области  $D$  с границей  $\partial D$  находится численно (например, по методу конечных разностей или методу конечных элементов). ЭМ — поля в неограниченной (внешней) области  $\Omega$  с границей  $\partial\Omega$  вычисляются по известным аналитическим или асимптотическим решениям. Область  $\Omega$  имеет непустое пересечение с сеточной областью  $D$ . Решение, найденное в области  $D$ , в согласии с алгоритмом ДАМ, итерационно «сшивается» с решениями в области  $\Omega$ .

Модель  $b$ . В этой модели  $D \subset \Omega$ , что соответствует модифицированному алгоритму Шварца [7, 8]. В соответствии с этим алгоритмом решение общей задачи конструируется из последовательного решения двух подзадач.

I. Задачи в фоновой среде, содержащей вставку  $D$ , в которой предполагается известной текущая величина плотностей источников аномального поля.

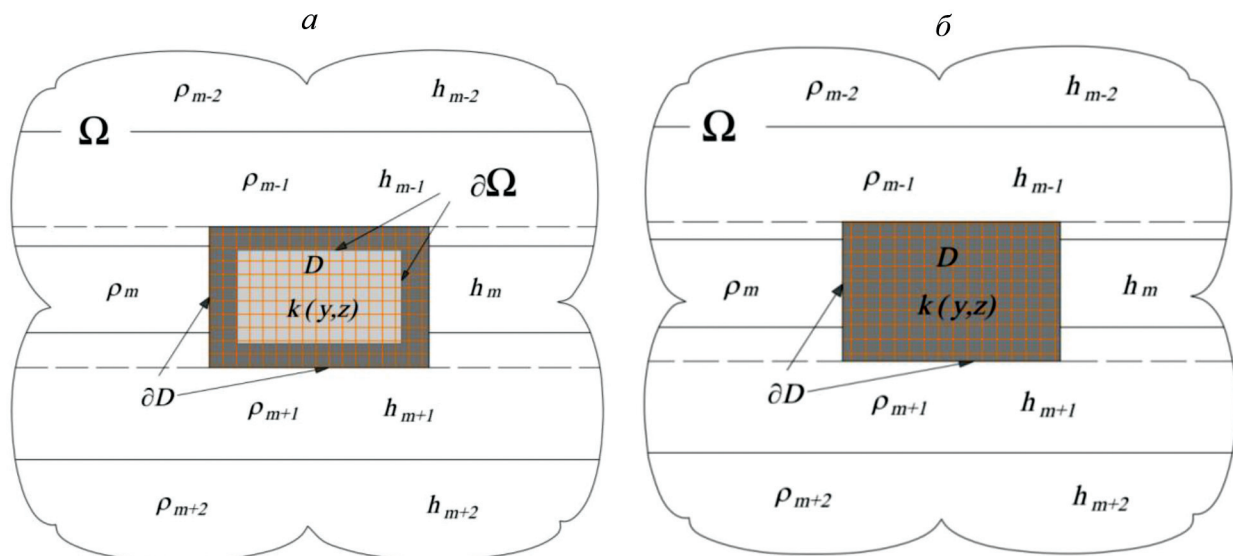


Рис. 1. Вид областей при глобальной декомпозиции:  $a$  — классический ДАМ:  $\Omega \cap D \neq \emptyset, \Omega \cup D = R^n, n = 2, 3$ ;  $b$  — модифицированный ДАМ:  $D \subset \Omega \subseteq R^n, \Omega \cap D = D, n = 2, 3$ ;  $\Omega$  — неограниченная область с границей  $\partial\Omega$ ,  $D$  — ограниченная область с границей  $\partial D$ , пересечение областей  $\Omega$  и  $D$ ,  $\rho_m$  — удельные электрические сопротивления слоёв,  $h_m$  — мощности слоёв

<sup>1</sup> Особенно остро это ощущается при численном решении трёхмерных задач уже в случае относительно простых моделей.

II. Задачи Дирихле во вставке предполагает известными величины потенциала на её границе.

Задавая в  $D$  начальное приближение к плотностям источников аномального поля, решаем первую задачу и рассчитываем поле на границе  $\partial D$ . Решая вторую задачу, обновляем плотность источников аномального поля в  $D$ . Повторяем решение этих задач до тех пор, пока не выполнится некоторый критерий завершения итерационного процесса.

### Пример решения трехмерной задачи ВЭЗ на основе глобальной декомпозиции

Внешняя краевая задача. Математическая модель геофизики состоит из трёх основных элементов: модели среды, модели источника и дифференциальной задачи, описывающей поведение поля в среде. Здесь используем такую же модель, как в [6]. Будем полагать, что нормальной моделью является трёхслойная горизонтально-слоистая среда с проводимостями слоёв  $\sigma_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) и мощностями  $h_n$  ( $h_3 = \infty$ ). Второй слой модели содержит *неоднородное локальное включение*  $\Pi$  с границей  $\partial\Pi$  и проводимостью  $\sigma$ , которое имеет форму прямоугольного параллелепипеда или цилиндра [6, рис. 1].

Искомая функция  $u(x, y, z)$  представлена суммой нормального  $U_n(x, y, z)$  и аномального  $U_a(x, y, z)$  потенциалов. В каждом однородном слое скалярный потенциал  $U_a$  удовлетворяет уравнению Лапласа, а в слоях, содержащих неоднородности, — уравнению Пуассона

$$\Delta U_a(x, y, z) = \sigma_n^{-1} \operatorname{div}(\sigma - \sigma_n) \times \operatorname{grad}[U_n(x, y, z) + U_a(x, y, z)]. \quad (1)$$

Алгоритмы решения первой подзадачи в слоистой среде, содержащей вставку  $\Pi$ , обсуждался в [6].

Внутренняя краевая задача. Остановимся более подробно на решении подзадачи II в однородных по проводимости локальных телах, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда и цилиндра конечных размеров. Решения краевых задач для ряда областей приведены в [1].

A. *Прямоугольный параллелепипед* (рис. 2). Пусть источник расположен на глубине  $h$  ( $0 \leq h < h_1$ ), однородное локальное тело  $\Pi$

$$\Pi = \{(x, y, z) | 0 < x < a, 0 < y < b, 0 < z < c\}$$

с постоянной проводимостью  $\sigma$  и границей  $\partial\Pi$ , лежит во втором слое трёхслойной среды. Требуется найти непрерывный в замкнутой области  $\Pi$  потенциал  $u(x, y, z)$ , удовлетворяющий в области  $\Pi$  уравнению Лапласа

$$\Delta u = 0, (x, y, z) \in \Pi \quad (2)$$

и принимающий на границе заданные значения

$$u|_{\partial\Pi} = f(x, y, z) \in C(\partial\Pi). \quad (3)$$

Функция  $f(x, y, z)$ , рассчитывается в результате решения задачи I. Пусть на гранях тела функции  $f(x, y, z)$ , соответствуют функции  $f_s$ ,  $s = \overline{1,6}$ :

$$\begin{aligned} u|_{x=0} &= f(0, y, z) = f_1(y, z), & u|_{x=a} &= f(a, y, z) = f_2(y, z), \\ u|_{y=0} &= f(x, 0, z) = f_3(x, z), & u|_{y=b} &= f(x, b, z) = f_4(x, z), \\ u|_{z=0} &= f(x, y, 0) = f_5(x, y), & u|_{z=c} &= f(x, y, c) = f_6(x, y), \end{aligned}$$

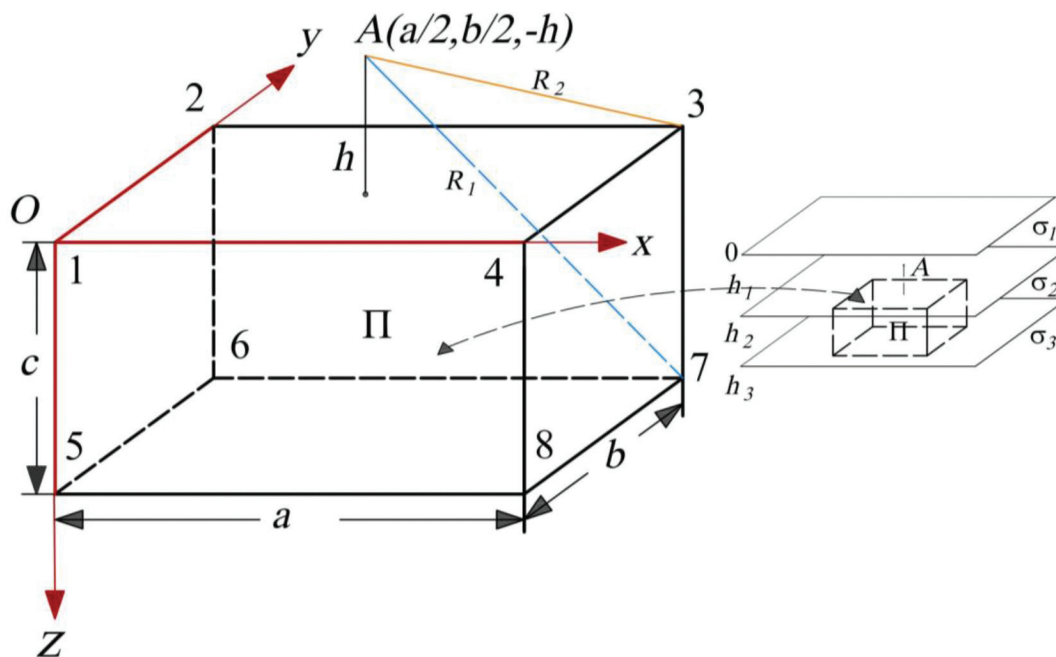


Рис. 2. Локальное тело — параллелепипед с размерами  $a \times b \times c$ , 1—8 — номера вершин;  $O$  — начало координат,  $A(x_s, y_s, z_s)$  — точечный источник,  $z_s = (-h)$  — аппликата источника.  $h_1$ — $h_3$  — мощности,  $\sigma_1$ — $\sigma_3$  — проводимости слоёв

а в вершинах параллелепипеда  $u(x, y, z)$ , имеет значения  $U_1, \dots, U_8$ . Для обеспечения непрерывности решения на границе построим вспомогательную гармоническую функцию  $\tilde{U}(x, y, z)$ , совпадающую в углах с  $U_i, \tau = 1, 8$ . Одной из таких функций является

$$\begin{aligned} \tilde{U}(x, y, z) = & U_1 p_1(x, a) p_1(y, b) p_1(z, c) + \\ & + U_2 p_1(x, a) p_2(y, b) p_1(z, c) + U_3 p_2(x, a) p_2(y, b) p_1(z, c) + \\ & + U_4 p_2(x, a) p_1(y, b) p_1(z, c) + U_5 p_1(x, a) p_1(y, b) p_2(z, c) + \\ & + U_6 p_1(x, a) p_2(y, b) p_2(z, c) + U_7 p_2(x, a) p_2(y, b) p_2(z, c) + \\ & + U_8 p_2(x, a) p_1(y, b) p_2(z, c), \end{aligned}$$

где

$$p_1(t, d) := 1 - t/d, p_2(t, d) := t/d, t \in [0, d.]$$

Примем

$$V(x, y, z) := u(x, y, z) - \tilde{U}(x, y, z).$$

Функция  $V(x, y, z)$  — гармоническая в  $\Pi$  и равна нулю в углах фигуры. Используя принцип суперпозиции, представим её в виде суммы трёх гармонических функций [1]

$$V(x, y, z) = V_1(x, y, z) + V_2(x, y, z) + V_3(x, y, z),$$

удовлетворяющих различным краевым условиям. Например, для функции  $V_1(x, y, z)$  они таковы:

$$V_1|_{x=0} = \varphi_1(y, z) = f_1(y, z) - \tilde{U}(0, y, z);$$

$$V_1|_{x=a} = \varphi_2(y, z) = f_2(y, z) - \tilde{U}(a, y, z).$$

Построение решения одной из этих задач позволяет записать расчётные формулы для двух других. Примем обозначения:

$$\varphi_s(y, z) := f_s(y, z) - \tilde{U}(0, y, z), s = 1, 2.$$

$$q_1(\xi, n, d) := \frac{sh[\eta(d - \xi)]}{sh(\eta d)},$$

$$q_2(\xi, n, d) := \frac{sh[\eta \xi]}{sh(\eta d)}, \xi \in [0, d], \eta > 0.$$

Согласно [1], функция  $V_1$  построена методом разделения переменных. В процессе решения получают систему собственных функций  $v_{mn}$  и собственных значений  $\lambda_{mn}^{(1)}$ :

$$v_{mn}(y, z) = \sqrt{4/bc} \sin(\pi my/b) \sin(\pi nz/c),$$

$$\lambda_{mn}^{(1)} = \pi^2(m^2/b^2 + n^2/c^2).$$

Решение  $V_1$  представлено рядом Фурье по синусам:

$$\begin{aligned} V_1(x, y, z) = & \\ = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} [\beta_{mn}^{(1)} q_1(x, \eta_{mn}, a) + \beta_{mn}^{(2)} q_2(x, \eta_{mn}, a)] \times \\ & \times \sin \frac{\pi my}{b} \sin \frac{\pi nz}{c}, \end{aligned} \quad (4)$$

в котором  $\eta_{mn} := \sqrt{\lambda_{mn}^{(1)}}$ ,  $\beta_{mn}^s$  — коэффициенты разложения функций  $\varphi_s$  в ряды Фурье,

$$\beta_{mn}^{(s)} = \frac{4}{bc} \int_0^b \int_0^c \varphi_s(y, z) \sin\left(\frac{\pi my}{b}\right) \sin\left(\frac{\pi nz}{c}\right) dy dz, \quad (4.1)$$

$$s = 1, 2; m, n = 1, 2, \dots$$

Аналогично находят функции  $V_2(x, y, z)$  и  $V_3(x, y, z)$ , с очевидными изменениями в формулах (4) и (4.1). Окончательно получим:

$$V(x, y, z) = V_1(x, y, z) + V_2(x, y, z) + V_3(x, y, z), \quad (5)$$

$$u(x, y, z) := V(x, y, z) + \tilde{U}(x, y, z). \quad (6)$$

Для уменьшения времени вычислений мы использовали прямое и обратное дискретное синус-преобразование Фурье. Например, коэффициенты  $\beta_{mn}^{(s)}$  вычислялись по формуле

$$\beta_{mn}^{(s)} \approx (\beta_s^h)_{mn} = \frac{4}{(N_y - 1)(N_z - 1)} \sum_{k=1}^{N_z-1} \quad (7)$$

$$\left[ \sum_{j=1}^{N_y-1} (f_s^h)_{j,k} \sin\left(\frac{\pi m(j-1)}{N_y-1}\right) \right] \sin\left(\frac{\pi n(k-1)}{N_z-1}\right),$$

где  $(f_s^h)_{j,k} = \varphi_s(y_j, z_k)$ .

Заменяя в формуле (4)  $\beta_{mn}^{(s)}$  на  $(\beta_s^h)_{mn}$  получим:

$$V_1(x, y, z) \approx V_1^h(x, y, z) =$$

$$\begin{aligned} = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} [(\beta_1^h)_{mn} q_1(x, \eta_{mn}, a) + (\beta_2^h)_{mn} q_2(x, \eta_{mn}, a)] \times \\ & \times \sin \frac{\pi my}{b} \sin \frac{\pi nz}{c}, \end{aligned}$$

**Численные эксперименты.** Линейные размеры параллелепипеда:  $a = 100$  м,  $b = 100$  м,  $c = 80$  м. Начало координат расположено в вершине параллелепипеда (рис. 2). Источник расположен над вставкой в точке с координатами  $\left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, -h\right)$  ( $0 \leq h < h_1$ ).

Потенциал  $U_n$  точечного источника равен:

$$U_n(x, y, z) = Q/R, \quad (8)$$

$$R = \sqrt{(x - a/2)^2 + (y - b/2)^2 + (z + h)^2}.$$

При тестировании программ полагали  $u(x_i, y_j, z_k) = U_n(x_i, y_j, z_k)$ ,  $Q = 1000$ . Если в задаче (2) — (3) принять  $f(x, y, z) = u|_{\partial \Pi}$ , то её решение внутри параллелепипеда должно совпадать с функцией  $U_n(x, y, z)$ . Это служит хорошей основой для тестирования алгоритмов и программ, а также оценки точности вычислений. Результаты численных экспериментов показаны на рис. 3.

График на рис. 3, а иллюстрирует результаты расчётов суммы функций  $V_1^h + V_2^h$ . Рельеф на рис. 3, б отображает решение задачи (2) — (3) в параллелепипеде. Рис. 3, в показывает практическое совпаде-

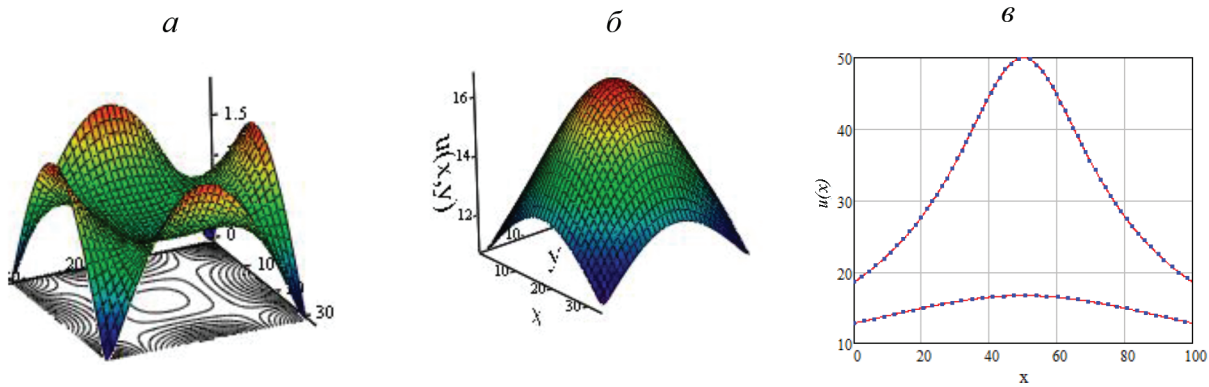


Рис. 3. Примеры расчётов (в плоскости  $z = c/2$ ): а – сумма функций  $V_1^h + V_2^h$ , б – функция  $V^h + \tilde{U}$ , в – сравнение численного (точки) решения с аналитическим (сплошные линии) по частным профилям

ние в узлах сетки численного решения  $U^h$  (точки) и аналитического  $u$  (сплошная линия), рассчитанного по формуле (8). Максимальная величина относительной погрешности  $\delta_N$  в плоскости  $\tilde{z} = c/2$  при различном положении источника и числе узлов сетки  $N = 8, 16, 32, 64$  не превышала 1% (при  $N = 64$ ) и 4% (при  $N = 8$ ).

**Б. Конечный цилиндр.** На рис. 4 изображена модель локального включения и его геометрические параметры, а также расположение точечного источника.

Источник расположен на поверхности земли в точке  $O$  — начале прямоугольной декартовой системы координат  $(x, y, z)$ . Точки  $O_1(x_1, y_1, z_1)$  и  $O_2(x_2, y_2, z_2)$  лежат на оси цилиндра радиуса  $a$ . Точка  $O_1$  — начало цилиндрической системы координат  $(r, \varphi, \bar{z})$ . Связь между координатами устанавливают следующие формулы:

$$\begin{cases} \bar{x} = x - x_1 = r \cos \varphi, & 0 \leq \varphi \leq 2\pi, & 0 \leq r \leq a, & r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2, \\ \bar{y} = y - y_1 = r \sin \varphi, & \cos \varphi = \bar{x}/r, & \sin \varphi = \bar{y}/r, \\ \bar{z} = z - z_1, & z_1 \leq z \leq z_2, & z_1 = H, & z_2 = H + h. \end{cases}$$

Общий случай взаимного расположения источника и цилиндра.

Требуется найти потенциал  $u = u(\rho, \varphi, \bar{z})$ , непрерывный в замкнутой области  $C$ , удовлетворяющий уравнению Лапласа

$$\Delta u = \frac{1}{\rho}(\rho u_\rho)_\rho + \frac{1}{\rho^2}u_{\varphi\varphi} + u_{\bar{z}\bar{z}} = 0, \quad (9)$$

$$0 < \rho < a, \quad 0 < \bar{z} < h$$

и краевым условиям

$$u|_{\rho=a} = f(\varphi, \bar{z}), \quad u|_{\bar{z}=0} = \psi_1(\rho, \varphi), \quad u|_{\bar{z}=h} = \psi_2(\rho, \varphi). \quad (10)$$

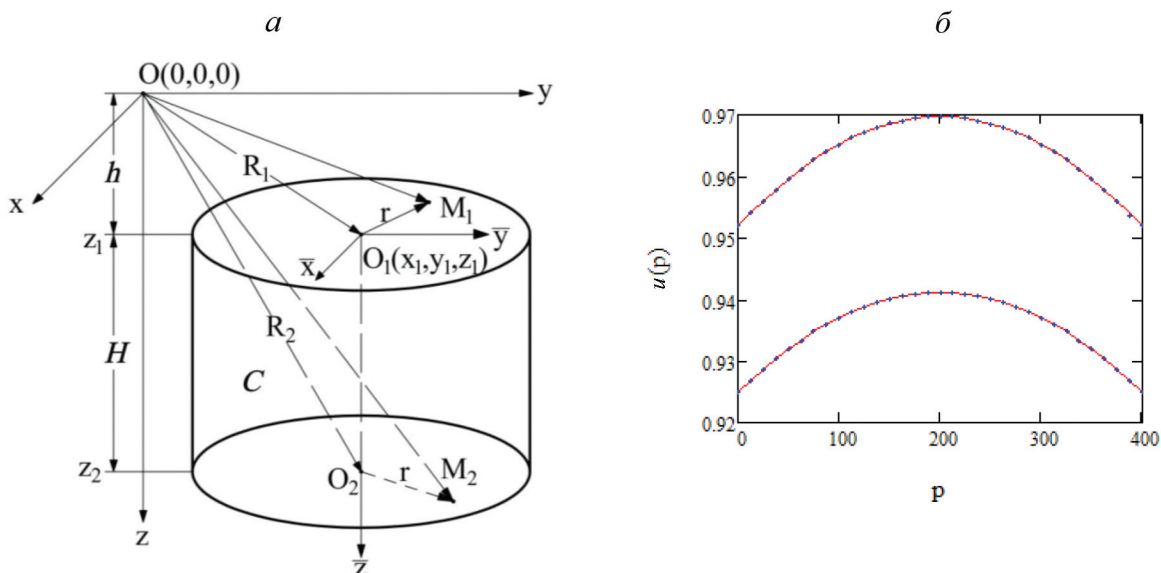


Рис. 4. Модель цилиндра радиуса  $r$  и точечного источника (а),  $O$  — начало координат,  $h$  — высота от начала координат до цилиндра,  $H$  — высота цилиндра,  $z_1$  и  $z_2$  — границы верхней и нижней крышки цилиндра,  $O_1$  — центр верхней крышки цилиндра,  $O_2$  — центр нижней крышки цилиндра,  $R_1$  — расстояние от  $O$  до  $O_1$ ,  $R_2$  — расстояние от  $O$  до  $O_2$ ,  $M_1$  и  $M_2$  произвольные точки на нижней и верхней границах цилиндра; б — сравнение численного (точки) решения с аналитическим (сплошные линии) по частным профилям



Общее решение находят в виде суммы решений трёх более простых задач:  $u = u_1 + u_2 + u_3$  [1]. Например, решение первой подзадачи имеет вид:

$$u_1(\rho, \phi, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} u_{1nm} = \\ = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} [(C_1)_{mn} \cos(n, \phi) + (C_2)_{mn} \sin(n\phi)] \times \\ \times [I_n(\mu_m \rho) / I_n(\mu_m a)] \sin(\mu_m z),$$

где  $\mu_m = \frac{pm}{h}$ ,

$$\begin{pmatrix} C_{1n,m} \\ C_{2n,m} \end{pmatrix} = \frac{2}{ph \cdot \varepsilon(n)} \int_0^h \int_0^{\phi} f(\phi, z) \sin(\mu_m z) \begin{pmatrix} \cos(n\phi) \\ \sin(n\phi) \end{pmatrix} dz d\phi,$$

$$\varepsilon(n) = \begin{cases} 2 & \text{при } n = 0, \\ 1 & \text{при } n > 0. \end{cases}$$

По аналогии с решением для прямоугольного параллелепипеда (см. формулу (7)) дискретные аналоги формул для приближенного вычисления коэффициентов имеют вид:

$$C_{1nm} \approx (C_1^h)_{nm} = \frac{4}{\varepsilon(n) N_z N_\phi} \times \\ \times \sum_{k=0}^{N_z-1} \left[ \sum_{j=0}^{N_\phi-1} (f_s^h)_{j,k} \cos\left(\frac{2pnj}{N_\phi}\right) \right] \sin\left(\frac{pmk}{N_z}\right),$$

$$C_{2nm} \approx (C_2^h)_{nm} = \frac{4}{N_z N_\phi} \times \\ \times \sum_{k=0}^{N_z-1} \left[ \sum_{j=0}^{N_\phi-1} (f_s^h)_{j,k} \sin\left(\frac{2pnj}{N_\phi}\right) \right] \sin\left(\frac{pmk}{N_z}\right),$$

где  $(f_s^h)_{j,k} = f(\phi_j, z_k)$ .

С учётом полученных коэффициентов формула для  $u_1(\rho, \phi, z)$  будет иметь вид:

$$u_1(\rho_i, \phi_j, z_k) \approx \sum_{n=0}^{N_\phi-1} \sum_{m=1}^{N_z-1} [(C_1^h)_{mn} \cos(n\phi_j) + (C_2^h)_{mn} \sin(n\phi_j)]$$

$$[I_n(\mu_m \rho_i) / I_n(\mu_m a)] \sin(\mu_m z_k),$$

где  $\rho_i = \frac{a}{N_\rho} i$ ,  $i = 0 \dots N_\rho - 1$ ,  $\phi_j = \frac{2\pi}{N_\phi} j$ ,  $j = 0 \dots N_\phi - 1$ ,

$$z_k = \frac{h}{N_z} k, k = 0 \dots N_z - 1$$
 — множество точек,  $N_\rho$ ,  $N_\phi$ ,

$N_z$  — число дискретных узлов.

Метод предполагает известными корни  $\mu_m$  функций Бесселя  $J_n(\mu_m)$ ,  $n \in Z_0$ ,  $m \in N$ . Их величины определялись численно.

Расстояние  $R$  от источника до произвольной точки  $M$  равно

$$R(M) = R_1 \sqrt{1 + 2 \frac{r}{R_1} \cos(\phi - \varphi) + \frac{r^2 + 2z_1 \bar{z} + z^2}{R_1^2}}, \quad (11)$$

$$R_1^2 = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2,$$

где  $\cos \phi = x_1 / R_1$ ,  $\sin \phi = y_1 / R_1$ .

*Численные эксперименты.* Для расчётов использована модель цилиндра с линейными размерами  $a = 50$  м,  $H = 100$  м,  $h = 250$  м (рис. 4, а). Начало координат расположено в точке  $O$ . Сравнение численного (точки) и точного (сплошная линия) решений (рис. 4, б.) показало практическое совпадение результатов в узлах сетки. Максимальная величина относительной погрешности в плоскости  $\bar{z} = h/2$  при различном положении источника и числе узлов сетки  $N = 8, 16, 32$  не превышала 2% (при  $N = 32$ ) и 4% (при  $N = 8$ ).

Задача (9)–(10) существенно упрощается, если модель среды и положение источника выбраны таким образом, чтобы потенциал не зависел от полярного угла [1].

### Заключение

Декомпозиция на основе алгоритма Шварца является удобным аппаратом для полуаналитического решения сложных задач. ДАМ позволяет решение сложных задач посредством многоуровневой декомпозиции свести к совокупности некоторого числа существенно более простых подзадач. Для этого нужно иметь банк решённых задач и библиотеку модулей, обеспечивающих расчёт ЭМ-полей для класса моделей различного масштаба. Вклады в банк многомасштабного моделирования в геоэлектрике можно найти в [2–5].

### ЛИТЕРАТУРА

- Будак Б.М., Самарский А.А., Тихонов А.Н. Сборник задач по математической физике. М.: Физматлит, 2003. 688 с.
- Ваньян Л.Л., Дебабов А.С., Юдин М.Н. Интерпретация магнитотеллурических зондирований неоднородных сред. М.: Недра, 1984. 197 с.
- Заборовский А.И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1963. 183 с.
- Серебрянникова Н.Н. Численное моделирование электрического поля точечного источника в слоистой среде с локальными включениями. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Пермь, 1987. 127 с.
- Уэйт Дж.Р. Геоэлектромгнетизм. М.: Недра, 1987. 235 с.
- Юдин М.Н., Спасский Б.А. Об оценке сходимости модифицированного алгоритма Шварца в прямой задаче ВЭЗ // Геофизика. 2016. № 5. С. 23–31.
- Юдин М.Н., Даев Д.С., Каринский А.Д., Севостьянов Н.А. Алгоритм Шварца. Расчёт Фурье-спектра аномального потенциала в слоистой среде, содержащей локальные тела. // Мат. Международной научно-практической конференции «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики», 22–23 ноября 2018 г. г. Пермь: ПГНИУ, 2018. С. 312–317.
- Юдин М.Н., Румянцев А.А. Многомасштабный подход к моделированию электромагнитных полей в геоэлектрике. // Мат. Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле», 9–12 апреля 2013 года. г. Москва, МГРИ-РГГРУ, 2013. Том 3. М., 2013. С. 261–264.

REFERENCES

1. Budak B.M., Samarsky A.A., Tihonov A.N. *Collection of problems in mathematical physics*. M., Fizmatlit Publ., 2003, 688 p. (In Russian).
  2. Van'yan L.L., Debabov A.S., Yudin M.N. *Interpretation of magnetotelluric soundings of inhomogeneous media*. M., Nedra Publ., 1984, 197 p. (In Russian).
  3. Zaborovsky A.I. *Electrical prospecting*. M., Gostoptekhizdat Publ., 1963, 423 p. (In Russian).
  4. Serebrennikova N.N. *Numerical simulation of the electric field of a point source in a layered medium with local inclusions*. Ph.D. thesis, Perm, 1987, 127 p. (In Russian).
  5. Wait J.R. *Geoelectromagnetism*. M., Nedra Publ., 1987, 235 p. (In Russian).
  6. Yudin M.N., Spassky B.A. On the assessment of the modified Schwarz's algorithm convergence in VES direct problem. *Geophysics*, 2016, no 5, pp. 23–31. (In Russian).
  7. Yudin M.N., Daev D.S., Karinsky A.D., Sevost'yanov N.A. The Schwartz algorithm. Calculation the anomalous potential Fourier-spectr in a layered medium containing local bodies. *Collection of scientific papers «Theory and practice of exploration and petroleum geophysics»*, Perm, 2018, pp. 312–317. (In Russian).
  8. Yudin M.N., Romyanceva A.A. Multiscale approach to modeling electromagnetic fields in geoelectrics. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «New Ideas in Earth Sciences» MGRI-RGGRU*, April 9–12, 2013, Moscow, 2013, Vol. 3, pp. 261–264. (In Russian).
-

ДИСКУССИИ

DISCUSSIONS

УДК 551.417.058+504.054

**К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОФИЦИАЛЬНОГО ПРИЗНАНИЯ  
ТЕРМИНА «АНТРОПОЦЕН» (НА ПРИМЕРЕ РЕГИОНОВ ЕВРАЗИИ)**

*Н.А. БОГДАНОВ*

*Институт географии РАН  
29, Старомонетный пер., Москва 119017, Россия  
e-mail: nabog@inbox.ru*

Трансформации окружающей среды (ОС), геологической её компоненты, вследствие активизации техногенеза вызвали отклик в зарубежной науке: предложено наименование периода развития этого процесса как «антропоцен» и официальное признание термина в качестве подраздела эпохи «голоцен» в рамках Общей стратиграфической шкалы Квартера (Антропоген). Признание предполагает планетарную репрезентативность процесса, которая на самом деле отсутствует. Единое мнение о временном пороге начала предполагаемого периода также отсутствует. Разные авторы датируют порог от 8 тыс. лет назад (соизмерим по продолжительности с Голоценом) до настоящего времени. Показательны примеры антропогенных трансформаций ОС в Евразии. Так, в Западной Европе активизация такой деятельности связана с началом промышленной революции (конец XVIII в.), которая в России наблюдалась приблизительно на 100 лет позже (вторая половина XIX в.). В Юго-Восточной Балтике конфликтные изменения состояния акватории, берегов и дна происходят с конца XIX в. по настоящее время. Они носят механический (катастрофическая абразия берега, порт Либавы), эколого- и радиационно-гигиенический характер (загрязнение акватории, захоронение на дне химических «отходов» мировых войн, выбросы на берег смертоносных снарядов и авиабомб, отголоски Чернобыльской катастрофы). Репером испытания и применения ядерного оружия с 1945 г. служат выпадения радионуклидов в Евразии. Временные пороги и мощности воздействия детерминированы индустриальным развитием цивилизаций, неравномерным во времени и пространстве. В труднодоступных уголках планеты термин «антропоцен» теряет смысл. Анализ развития событий показал: ратификация термина в рамках хроностратиграфической шкалы недопустима.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** окружающая среда; техногенез; трансформации; «антропоцен»; ратификация; целесообразность.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-67-74

**TO THE QUESTION OF THE EXPEDIENCY OF THE OFFICIAL RECOGNITION  
OF THE TERM «ANTHROPOCENE» (ON THE EXAMPLE OF THE REGIONS OF EURASIA)**

*N.A. BOGDANOV*

*Institution of Geography RAS (IG RAS)  
29, Staromonetnyy per., Moscow 119017, Russia  
e-mail: nabog@inbox.ru*

The transformation of the environment (EM), its geological components, due to the intensification of technogenesis caused a response in foreign science: it was proposed to name the period of the development of this process as «anthropocene» and officially recognize the term as a subsection of the Holocene era in the framework of the Quarter General Stratigraphic scale (Anthropogen). This recognition implies a planetary representativeness of the pro-

cess, which is actually absent. There is also no consensus on the time threshold for the start of the estimated period. Various authors date the threshold from 8 thousand years ago (comparable in duration with the Holocene) to the present time. Illustrative examples of the anthropogenic transformations of the EM are presented in Eurasia. Thus, in Western Europe, the intensification of such activities is associated with the beginning of the industrial revolution (the end of the 18th century), which was observed in Russia about 100 years later (the second half of the 19th century). In the South-Eastern Baltic, conflicting changes in the state of the water area, shores and the bottom have been occurring since the end of the 19th century and up to the present. They are mechanical (catastrophic abrasion of the coast, port of Libava), ecological and radiation-hygienic in nature (pollution of the water area, burial at the bottom of the chemical waste of World Wars, emissions of deadly shells and bombs, echoes of the Chernobyl disaster). The reference point for the use and testing of nuclear weapons since 1945 is the fallout of radionuclides in Eurasia. Temporary thresholds and powers of influence are determined by the industrial development of civilizations, which is uneven in time and space. In remote corners of the planet, the term «anthropocene» loses its meaning. An analysis has shown that the term's ratification within the chronostratigraphic scale is unacceptable.

**К е у о р д s:** environment; technogenesis; transformation; «anthropocene»; ratification; expediency.

Трансформация окружающей среды (ОС), геологической её компоненты вследствие активизации антропогенного воздействия в последние 200—300 лет прогрессирует, особенно в Евразии (технологии, технические средства, войны и т. п.). Исследованию и оценке развития процесса посвящено множество публикаций [1—4, 9, 11—13, 15, 17, 23—25 и др.]. Последствия антропогенеза сопоставимы с результатами проявления геологических процессов; они изменяют условия жизни на Земле (*курсив* — дословный перевод термина «гео-экология», предложен К. Троллем, 1939 г. [2]). Отклики геологической среды на вмешательство человека разнообразны: активизация абразии, смещения грунта, сейсмичность и т. д. Зарубежная наука отреагировала на процесс неформальным понятием «антропоцен» (предложено Ю. Стормером, 1980-е гг.; впервые опубликовано П. Крутцеком [20]): геологическая эпоха, характеризующаяся существенной (в какой мере? — Н.Б.) ролью человеческой деятельности в экосистеме Земли. Предполагались ратификация «инновации» Международным союзом геологических наук и придание ей официального статуса [24]. Однако уже в отношении начала этой «эпохи» мнения неоднозначны. Порог датируется: 8 тыс. лет назад (палеоклиматолог У. Руддимэн: «ранний антропоцен», переход человека от охоты и собирательства к сельскому хозяйству и животноводству); вторая половина XVIII в. (начало промышленной революции в Западной Европе); или 1980-е гг. (по обнаруженной на леднике в округе Фримонт техногенной Hg, связанной с массовым сжиганием каменного угля) [25]. Аномалии Hg в грунте можно связать и с добычей золота (аффинаж). В данном случае возраст «порога» обсуждаемого понятия «растворяется» в далеком прошлом золотодобычи и регионально инвариантен [17]. Антропоценовое движение порождает и другие оригинальные предложения. Так, группа американских палеозоологов ратует за выделение из века млекопитающих Ранчолабреа ( $\approx 210$ —0 тыс. лет) в континентальной биохронологической шкале Северной Америки двух новых веков: а) *сантарозия* (Santarosean) — появление в Новом Свете *Homo sapiens*  $\approx 14$  тыс. лет назад и

б) *сентагустиния* (Saintagustinian) — появление домашней лошади *Equus caballus* 400 лет назад [18]. Идеи антропоценового движения регулярно публикуются двумя международными журналами Anthropocene и The Anthropocene Review (с 2013 и 2014 гг. соответственно). Отношение же широкой стратиграфической общественности к официальному признанию рассматриваемой «инновации» отрицательно [14].

«Антропоцен», таким образом, претендует на отрезок времени, соизмеримый с Голоценом (11,7—10 тыс. лет) и может почти совпадать с ним по продолжительности [21]. Фонетически он неудачно ассоциируется с названием, включающим эту эпоху (Голоцен) периода «Антропоген» (введён А.П. Павловым, 1922 г. — появление на Земле человека [8]) — синоним терминов «Четвертичный период» или «Квартер». Однако нижний порог и этого периода в Общей стратиграфической шкале претерпел изменения: от 1 млн. лет назад [8] и 1,8 млн. лет назад (поправка введена в 2000 г. [16]) до  $\approx 2,6$  млн. лет назад (возраст утверждён Международным Союзом Геологических наук в 2009 г., а весной 2011 г. и российской Межведомственной стратиграфической комиссией для отечественной Общей стратиграфической шкалы [10, 14]). По решению (июль 2018 г.) Международной комиссии по стратиграфии, утверждены новые подразделения хроностратиграфической шкалы. Временные пороги событий опираются в ней на эпохи резких изменений климата (но, не на техногенез! — Н.Б.). Самый молодой ярус голоцена (*мегалайский*, начало 4250 лет назад — с рубежа 200-летней глобальной засухи) охватывает и современность [22].

Пороги активизации антропогенного фактора, значение которого в модификации состояния планеты во многом гипертрофировано, имеют разные датировки [1, 2, 17]. Если «антропоцен» связывать с началом промышленной революции в индустриально развитых регионах мира, то временной разрыв для Западной Европы и России составит  $\approx 100$  лет (конец XVIII в. и середина XIX в. — начало XX в. соответственно). В приложении к труднодоступным или удалённым от так называемой цивилизации регионам термин и вовсе теряет смысл

(например, южно-американская сельва, пустыня Сахара, о-ва Полинезии и др.).

Показательны в этом отношении события в Евразии — «колыбели» техногенеза.

*Цель исследования* — оценка целесообразности официального признания такой терминологической «инновации» на основе анализа вековых изменений состояния геологической среды регионов Евразии от воздействия техногенеза.

*Методы оценок* — анализ и обобщение исторических документов, картографических материалов, результатов прибрежно-морских исследований и лабораторных определений. Рассмотрены последствия человеческой деятельности для состояния геологической среды и качества условий жизни в Юго-Восточной Балтике и Арктике за период XVII—XX вв. [1, 2, 5, 9, 23].

### Результаты и обсуждение

Балтийское море издавна является ареной активной человеческой деятельности. Это одно из наиболее загрязнённых внутренних морей Европы [1, 2]. Временные пороги, характеризующиеся «существенной ролью» [20] такой деятельности в изменении физико-механического, химического и радиационно-экологического состояния геологической среды, проявились здесь неоднозначно.

А б р а з и я б е р е г а т е х н о п л а г е н н о г о т и п а [3—5, 9]. Вдоль аккумулятивных песчаных берегов Курляндии несколько тысяч лет существовал направленный к северу поток вещества и энергии, прерванный в начале XX в. техногенным фактором. История событий такова. На рубеже XVII—XVIII вв. в местечке «Portas Livas» (окраина Ливавы) *Петром I* заложен цивилизованный порт (ранее суда принимались на открытом рейде). В дальнейшем парные ражевые молы вынесены в аква-

торию на 320 м до глубин моря 6 м (1868 г.), но не нарушили динамику прибрежной морфо- и литодинамической системы (рис. 1). К началу XX в. порт расширен и укреплен крепостью (форты возводились в 70—100 м от уреза воды). Императорская Балтийская Флотилия пополнялась крупнотоннажными судами; молы удлинились до 2123 м. Устойчивость берега к абразии нарушилась. В районе порта сформировался непропуск прибрежных наносов: южнее — входящий угол заполнения; севернее — низовой размыв (до 5—7 км от порта; катастрофическая абразия развита до сих пор). Призма донных песков разрушена до начала 1930-х гг. К 1960—1970-м гг. развалины фортов «вышли» на урез воды и вызвали абразию берега второго порядка. Темпы её увеличились от 0,7—1,7 м/год (первые 70 лет) до 3—4 м/год в последующие годы эксплуатации порта. За 100 лет берег отступил до ≈200 м (рис. 2, 3).

Техногенное загрязнение сугрозами жизни и здоровьем людей.

*Эхо II Мировой войны.* Со времен её окончания на Балтике сосредоточены подводные захоронения боевых отравляющих химических веществ (БОХВ) из арсенала трофейного оружия фашистской Германии. Состав БОХВ: циклон *Б* (синильная кислота), иприт, адамсит, хлорацетофен. Число и местоположение свалок точно не зафиксированы: упомянуты около 60 полигонов [13, 15]. Имеются два крупных района такого рода утилизации — Лиепайский и Борнхольмский (рис. 4). Лиепайское захоронение — концентрированное россыпного типа. Полигоны подлежат дампингу. Свалка грунта на глубинах моря >10 м (доступны для воздействия на дно волн жестоких штормов) существовала в двух—трех милях севернее порта Лиепая (рис. 2). Дампинг от ремонтного дночерпания в порту регулярно производился силами ВМФ СССР. В конце

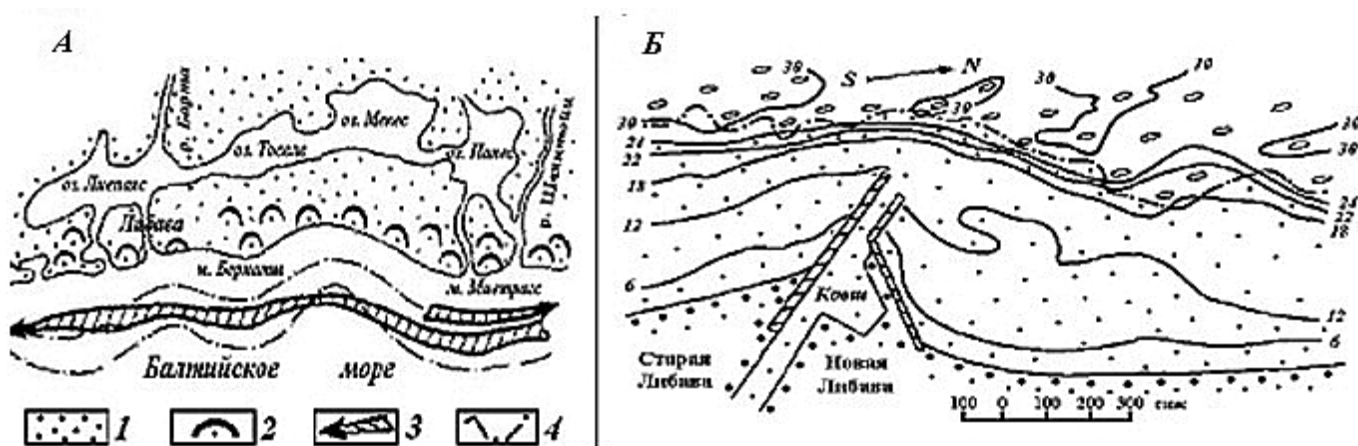


Рис. 1. Состояние и техногенное освоение морского берега: район Ливавы, XVII—XIX вв. (Лиепайский Краеведческий музей и [3, 5]). А — 1637 г.: картосхема. 1—4 — литология, морфология и динамика берега: 1 — пески, 2 — массивы древних береговых дюн; 3 — вдольбереговая составляющая среднелетнего прибрежного потока волновой энергии, 4 — изобаты. Б — конец XIX в.: бесконфликтное состояние, аккумулятивный берег, 1879 г. Штрих-пунктир — граница песков с валунно-глыбовым бенчем. Глубины моря — футы



Рис. 2. Современная техногенная динамическая аномалия: панорама катастрофической абразии севернее бетонных развалин Батареи № 3 крепости Лиавы (Лиепая, конец XX в., фото автора)



Рис. 3. Современная техногенная динамическая аномалия: непропуск наносов у порта и низовой размыв берега к северу от него с полигоном дампинга грунта (конец XX в.) [3–5, 19]: 1–4 – тип берега: 1 – абразионный, 2 – абразионно-аккумулятивный, со следами эпизодического размыва, 3 – то же, с эоловой «подушкой» в тыловой части пляжа, закреплённой овсом песчаным, 4 – аккумулятивный; 5 – переваемые пески авантюна на пляже и быстро возобновляющиеся отмели аванпорта; 6 – донные пески; 7 – каменистое дно; 8, 9 и 10 – косвенные индикаторы динамики прибрежной зоны: микролагуна в горле разрывного течения, концентраты тяжёлых минералов на пляже и бакены, сорванные с подходов к порту, соответственно; 11 – среднесезонная тенденция переноса вещества и энергии; 12 – зоны преимущественного выноса пляжевых песков на взморье; 13 – прибрежные циркуляционные ячейки; 14, 15 – бетонные развалины и номера батарей крепости Лиавы соответственно; 16 – изобаты; 17 – условные границы звеньев литодинамической подсистемы; 18 – устья малых рек и ручьёв. ГОС – городские очистные сооружения. Штриховые линии между звездочками – границы полигона дампинга грунта

войны советскими войсками здесь ликвидирована фашистская группировка — «Лиепайский Котел». Штормовые выбросы на урез и пляж и в настоящее время содержат смертоносные «реликты» (снаряды, авиабомбы в разрушенном и «рабочем» состоянии и др. [5]). Среди них могут оказаться и БОХВ, поскольку информация о таких захоронениях приближительна (около 60 [13]). Опасность

заражения ОС от их разрушения возрастает при воздействии на грунт: а) траление с рыболовецких судов, б) повреждения в ходе инженерно-технических, геолого- и горно-морских работ, в) штормовое воздействие.

Начало опасного этапа *техногенеза* отчётливо датируется возникновением и развитием на планете ядерных технологий.



Рис. 4. Подводные захоронения трофейного боевого химического оружия (ТБХО) из арсенала фашистской Германии странами антигитлеровской коалиции (СССР, США, Англия): проливы и Балтийское море [13, 15]. Захоронения ТБХО, тип (глубоководные впадины) – 1 и 2: Лиепайское, россыпного типа (Готландская) и Борнхольмское (одноименная впадина), соответственно (осуществлены СССР); 3–6 – подводные захоронения ТБХО, осуществленные США и Англией

*Последствия аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС).* Выброс радионуклидов охватил и часть Советской Прибалтики (весна 1986 г.). «Чернобыльский след» надёжно трассируется по наличию техногенного и токсичного продукта деления урана —  $^{137}\text{Cs}$ . Изотоп прочно удерживается почвенной органикой и тонкодисперсной частью грунта, проникает в кристаллические решетки глинистых минералов и в коренные породы (базальты, глубина 3–5 см) [6–8, 12]. На Балтике в 1987 г. слой (0–5 см) донных осадков содержал 3400 Бк/кг  $^{137}\text{Cs}$ . Для сравнения — осадки южных внутренних морей, 1997–1998 гг.,  $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг: Азовское — до 100, Черное (Анапа — Сочи) — 0,19 (в среднем: фон) [1, 2].

Ввиду указанных событий современные пляжевые пески в районе Лиепай (местечко Шкедес) исследованы и с позиций радиационной опасности [5]. Проба отобрана летом 1988 г. (через два года после катастрофы; материал подвергался воздействию штормов, колебаниям температуры, перевыванию; до проведения анализа он хранился в плотно упакованной стеклянной банке 27 лет). Образец анализировался в аттестованной и аккредитованной лаборатории ОАО НТЦ «Амплитуда» (зам. ген. директора, аналитик-консультант А.П. Ерми-

лов, Зеленоградск, 25.05.2015 г.). В песках диагностирован техногенный изотоп  $^{137}\text{Cs}$ . Источники его в Лиепайском районе Латвийской ССР отсутствовали (энергетика, атомоходы, ядерное оружие и т. п. [5]). Период полураспада ( $T_{1/2}$ )  $^{137}\text{Cs}$ : 30,2 г. [6].

Концентрация в пробе  $^{137}\text{Cs}$  —  $32 \pm 23$  Бк/кг. Во время катастрофы удельная его активность в почве на берегах и в пляжевых наносах была почти в 2 раза выше (с учётом  $T_{1/2}$ : >60 Бк/кг, до 110 Бк/кг). Органическая часть почв береговых дюн могла содержать  $^{137}\text{Cs}$  >200 Бк/кг; торфяники междюнных понижений — в 5–8 раз больше (до 500 Бк/кг). Уровень загрязнения в Латвийской ССР соответствовал величинам, присущим в то время территориям Тульской и Смоленской областей, но был выше, чем в пределах «Семипалатинского следа» на Алтае [5–7] (табл. 1, 2).

Таблица 1

**«Семипалатинский след» в Алтайском крае, Бк/кг [7]**

Дерново-подзолистая почва Алтайско-Красногорской лесостепной зоны	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
	41,5±2,1	33,9±2,4	31,4±2,5	217,5±3,8

Таблица 2

«Чернобыльский след» в лесах областных Управлений лесами,  $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг [7, 9]

Область	Почва: минеральная часть, слой 0—15 см	Лесная подстилка	подстилка / почва, раз
Брянская	до 5000	до 10 000	до 2
Калужская	350	21100	60,3
Тульская (в зонах с разной плотностью загрязнения)	110	3820	34,7
	420 (215—750)	1300 (770—1853)	3,1
Пензенская	310 (до 925)	2600 (до 5860)	8,4
Воронежская	404 (722 в слое 0—5 см, 289 — 5—10 см, 200 — 10—15 см)	2146	5,3
Смоленская	194—492	414—2927	до 15,1

Примечание. Обстановка — по состоянию стационарных участков контроля на 01.01.1996 г. «Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997—2000 гг.)»

*Испытания ядерного оружия.* Искусственная радиоактивность — наиболее надёжный индикатор начала глобального опасного воздействия человека на среду обитания и своё здоровье. *Временной порог* истоков событий общеизвестен — 1945 г. На планете к началу 1991 г. (приблизительно за 50 лет) различными странами произведено >2000 ядерных взрывов (подземные, наземные, воздушные, подводные). Период 1963 — 1991 гг. (страны — число испытаний соответственно): США — 1085, СССР — 715, Франция — 182, Англия — 42, Китай — 36. «Супербомба» А.Д. Сахарова — рекордная в мире для ядерных испытаний (мощность 50 Мт в тротиловом эквиваленте; высотный термоядерный взрыв № 130 в атмосфере, 30.11.1961 г.; Новая Земля: «Объект — 700»). Высотные взрывы слабо влияют на район испытаний; наибольший ущерб наносится обширным смежным территориям [1, 9, 19]. Так, в Арктике радиационно-экологическая обстановка определяется глобальным радиоактивным загрязнением атмосферы Северного полушария от испытаний ядерного оружия (1945—1980-е гг.) и незначительным вкладом катастрофы на ЧАЭС (1986 г.). Глобальным выпадением радионуклидов обязан и высокий уровень радиоактивности в пищевой цепи региона: «лишайник — олень — человек». Вместе с тем устойчивой связи радиационного фактора с негативными изменениями здоровья людей не установлено. У жителей Японии не обнаружено генетических эффектов действия радиации (Хиросима, Нагасаки, 1945 г.). В зоне аварии на ЧАЭС не выявлено статистически значимое превышение контрольного уровня заболеваемости лейкемией. Имеются лишь доказанные случаи онкологии щитовидной железы от мощного воздействия «короткоживущего» изотопа йода [1, 9, 11].

Одна из основных характеристик опасности для биосферы и человека радионуклидов — *период полураспада*. По этому критерию среди *техногенных*

их разновидностей выделены группы изотопов: а) осколочные элементы ядер деления ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  и т. д.); б) продукты активации в нейтронных полях ( $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  и т. д.); в) элементы ядерных реакций присоединения (Np — нептуний, Pu — плутоний, Md — менделеев и др.); г) такого же рода элементы, но с нейтронами при ядерных взрывах и управляемых ядерных реакциях ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  и др.). Большинство из них, как правило, имеют незначительные величины  $T_{1/2}$  — от долей секунды и минут (газы) до десятков лет ( $^{137}\text{Cs}$ ). Однако есть и такие,  $T_{1/2}$  которых соизмерим со временем геологической истории Земли:  $^{239}\text{Pu} = 24065$  лет;  $^{123}\text{Te} = n \times 10^{13}$  лет [12].

Анализ событий показывает: воздействие человека на природную среду планеты весьма мозаично как по региональной распространённости, времени и наличию активизации, так интенсивности и характеру последствий (физико-механические, радиационные, химические, биологические, санитарно-гигиенические, токсикологические, эколого-эпидемиологические, мутагенные и т. п.).

В отношении темы исследования более точным было бы понятие «техноцен» — как время активных и глобальных, часто необратимых и негативных техногенных изменений состояния ОС, геологической её составляющей и здоровья людей. Накопления в биосфере долгоживущих техногенных радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{123}\text{Te}$  могли бы стать устойчивыми глобальными реперами нижней границы «техноцена» или «технорационуклидоцена», или «радионуклидоцена», или т. п. «изыскам» Но, тогда предшествующий раздел Голоцена также потребует какого-либо наименования техногенного толка.

Излишняя приверженность изменчивым западным стандартам может повредить устойчивости отечественных критериев стратиграфии квартала [14]. Возможно, более разумней было бы создать новую эколого-геохронологическую Шкалу с учё-



том и детализацией мозаичности распространения и интенсивности проявления антропогенеза на планете.

В итоге возникает вопрос о пользе таких лингвистических упражнений и хроностратиграфических «инноваций», противоречащих общепринятой климатостратиграфической методологии датировок. Вполне очевидно, что они не имеют ни теоретического, ни практического смысла.

### Заключение

Начало и продолжительность существенных преобразований биосферы с участием человека в

разных регионах мира имеют различные временные рамки. В Евразии они тесно связаны с политико-экономическими, военно-политическими и научно-техническими особенностями развития регионов. В этой связи выделение в Международной хроностратиграфической шкале, основанной на климатостратиграфических критериях оценок, таких подразделений как «антропоцен», опирающихся на техногенный фактор, лишено всякого смысла.

Исследование выполнено по теме ГЗ № 0148-2019-0005, № ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119021990091-4.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: ГЕОС, 2000. 307 с.
2. Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. М.: Наука, 2005. 304 с.
3. Богданов Н.А. Морфолитодинамический аспект экологии побережья Балтийского моря // Геоморфология. 1993. № 3. С. 56–63.
4. Богданов Н.А. Техногенез и трансформации состояния берегов и дна Балтики // Астраханский вестник экологического образования. 2016. Т. 38. № 4. С. 4–18.
5. Богданов Н.А. Прибрежно-морское россыпеобразование: редкометалльные залежи Юго-Восточной Балтики. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. 200 с.
6. Бударников В.К., Киришин В.А., Антоненко А.Е. Радиобиологический справочник. Минск: Уражай, 1992. 336 с.
7. Винокуров Ю.И., Мальгин М.А. Цезий-137 в почвах сопряженных ландшафтов Присалаирья // Экология и безопасность жизнедеятельности человека в условиях Сибири. Барнаул: Алтайский госуниверситет, 1997. С. 45–50.
8. Геологический словарь. Т.1. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1955. 402 с.
9. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. СПб.: Прогресс-погода, 1996. 355 с.
10. Жамойда А.И., Леонтьева Е.Н. Постановление о понижении уровня границы неогеновой и четвертичной систем // Постановления межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 41. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. С. 9–11.
11. Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Иванов С.И., Пузанов А.В. Радиоэкологические и медико-биологические последствия радиационного воздействия. СПб.: Наука, 2012. 234 с.
12. Панин М.С. Загрязнение окружающей среды: Учебное пособие / под редакцией И.О. Байтулина. Алматы: Раритет, 2011. 668 с.
13. Рябушев А. Химические свалки на Балтике угрожают всей Европе // Независимая газета. 14.01.2002. Доступно по: [http://www.ng.ru/ecology/2002-01014/11\\_baltic.html?id\\_user=Y](http://www.ng.ru/ecology/2002-01014/11_baltic.html?id_user=Y).
14. Тесаков А.С. Современное состояние Международной стратиграфической шкалы квартера: новости из Подкомиссии по стратиграфии четвертичной системы Международной комиссии по стратиграфии // Неоген и квартал России: стратиграфия, события и палеогеография. М.: ГЕОС, 2018. С. 14–17.
15. Холмянский М.А., Владимиров М.В., Григорьев А.Г. Соотносительная характеристика подводных потенциально опасных объектов северо-западных морей Европы // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2011. № 1. С. 74–77.
16. Шкатов В.К. Общая магнитостратиграфическая шкала полярности Квартера – 2015 // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Матер. IX Всероссийского совещания по изучению Четвертичного периода (Иркутск, 15–20 сентября 2015 г.). Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 509–510.
17. Якуцени С.П., Буровский А.М. Политическая экология. СПб.: АураИнфо и Союза писателей Санкт-Петербурга, 2011. 528 с.
18. Barnosky A.D., Holmes M., Kirchoff R. et al. Prelude to the Anthropocene: Two new North American Land Mammal Ages (NALMAs) // The Anthropocene review. 2014. Vol. 1. N 3. P. 225–242.
19. Богданов Н.А., Раганина А.Н. Technogenic transformations of sea coasts on the Baltica sea // International Journal of Geography and Geology. 2017. N 2. P. 26–31. DOI: 10.18488/journal.10/2017.6.2/10.2.26.31.
20. Crutzen P. J., Stoermer E. F. The «Anthropocene» // Global Change Newsletter. 2000. Vol. 41. P. 17–18.
21. DeWever P., Finney S. The Anthropocene: a Geological or Societal Subject? // Biodiversity and Evolution. / Eds. P. Grandcolas, M.-C. Maurel. Amsterdam, Elsevier. 2018. P. 251–264.
22. ICS chart containing the Quaternary and Cambrian GSSPs and new stages (v 2018/07) is now released! // International Commission on Stratigraphy. <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-news-and-meetings/120-ics-chart-containing-the-quaternary-gssps-and-new-stages-v-2018-07-is-now-released> (дата обращения: 26.03.2019).
23. Novaya Zemlya. Ecological Security of Underground Nuclear Test. Ed. J. Baarli. University Oslo. Moscow, 1991. 61 p.
24. Steffen W., Grinevald J., Crutzen P., McNeil J. The «Anthropocene»: conceptual and historical perspectives. Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2011. Vol. 369. 843 p.
25. Zalasiewicz J., Williams M., Smith A. et al. Are we now living in the Anthropocene? GSA Today, 2008. Vol. 18. N 2. P. 4–8. DOI:10.1130/GSAT01802A.1.

### REFERENCES

1. Aybulatov N.A. *Ekologicheskoye ekho kholodnoy voyny v moryakh Rossiyskoy Arktiki* [The ecological echo of the Cold War in the seas of the Russian Arctic]. Moscow, GEOS Publ., 2000, 307 p. (in Russian).
2. Aybulatov N.A. *Deyatel'nost' Rossii v pribrezhnoy zone morya i problemy ekologii* [Activities of Russia in the coastal zone and environmental problems]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 304 p. (in Russian).

3. Bogdanov N.A. Morpholithodynamics aspect of the ecology of the Baltic sea coast. *Geomorfologiya*, 1993, no 3, pp. 56–63. (in Russian).
4. Bogdanov N.A. Technogenesis and transformation of state banks and the bottom of the Baltic sea. *Astrahanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2016, vol. 38, no 4, pp. 4–18. (in Russian).
5. Bogdanov N.A. *Pribrezhno-morskoye rossyepobrazovaniye: redko-metal'nyye zalezhi Yugo-Vostochnoy Baltiki* [Coastal-marine placer formation: rare metal deposits of the South-Eastern Baltic]. Moscow, Media-PRESS Publ., 2017, 200 p. (in Russian).
6. Budarnikov V.K., Kirshin V.A. Antonenko A.E. *Radiobiologicheskii spravochnik* [Radiobiological reference book]. Minsk, Uradzhay, 1992. (in Balarusiya).
7. Vinokurov Yu.I., Malgin M.A. *Tseziy-137 v pochvakh sopryazhennykh landshaftov Prisalair'ya* [Cesium-137 in the soils of paired landscapes Prisalair]. *Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti cheloveka v usloviyakh Sibiri* [Ecology and human life safety in the conditions of Siberia]. Barnaul, Altayskiy gosuniversitet Publ., 1997, pp. 45–50. (in Russian).
8. *Geologicheskii slovar'* [Geological dictionary]. Vol.1. Moscow, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo literatury po geologii i ohrane neдр Publ., 1955, 402 p. (in Russian).
9. Izrael Yu.A. *Radioaktivnyye vypadeniya posle yadernykh vzryvov i avariy* [Radioactive fallout after nuclear explosions and accidents]. SPb., Progress-pogoda Publ., 1996, 355 p. (in Russian).
10. Zhamoyda A.I., Leontyeva E.N. *Postanovleniye o ponizhenii urovnya granitsy neogenovoy i chetvertichnoy sistem* [Decisions of the interdepartmental stratigraphic committee and its standing commissions]. Vol. 41, SPb., VSEGEI Publ., 2012. pp. 9–11. (in Russian).
11. Meshkov N.A., Valtseva E.A., Ivanov S.I., Puzanov A.V. *Radioekologicheskiye i mediko-biologicheskiye posledstviya radiatsionnogo vozdeystviya* [Radioecological and medical biological consequences of radiation exposure]. SPb., Nauka Publ., 2012, 234 p. (in Russian).
12. Panin M.S. *Zagryazneniye okruzhayushchey sredy: Uchebnoye posobiye. Pod redaktseyey I.O. Baytulina* [Environmental pollution: study guide (ed. I.O. Baytulina)]. Almaaty, Raritet Publ., 2011, 668 p. (in Kazakhstan)
13. Ryabushev A. Chemical dumps in the Baltic area threaten all Europe. *Nezavisimaya gazeta*. 14.01.2002. Available at: [http://www.ng.ru/ecology/2002-01-14/11\\_baltic.html?id\\_user=Y](http://www.ng.ru/ecology/2002-01-14/11_baltic.html?id_user=Y) (in Russian).
14. Tesakov A.S. *Sovremennoye sostoyaniye Mezhdunarodnoy stratigraficheskoy shkaly kvartera: novosti iz Podkomissii po stratigrafii chetvertichnoy sistemy Mezhdunarodnoy komissii po stratigrafii* [The current state of the International Quarter Stratigraphic Scale: news from the Subcommittee on the Quaternary Stratigraphy System of the International Commission on Stratigraphy]. *Neogen i kvarter Rossii: stratigrafiya, sobytiya i paleogeografiya* [Neogen and the Quarter of Russia: stratigraphy, events and paleogeography]. M., GEOS Publ., 2018, pp. 14–17.
15. Holmyanskiy M.A., Vladimirov M.V., Grigorev A.G. The correlative characteristic of the underwater potentially dangerous objects of the north-western seas of Europe. *Mediko-biologicheskiye i sotsialno-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*, 2011, no 1, pp. 74–77. (in Russian).
16. Shkatova V.K. *Obshchaya magnitostatigraficheskaya shkala polyarnosti Kvartera – 2015* [General Quarter Magnetostratigraphic Polarity Scale – 2015]. *Trudy 9 Vserossiyskogo soveshchaniya po izucheniyu Chetvertichnogo perioda «Fundamental'nyye problemy kvartera, itogi izucheniya i osnovnyye napravleniya dal'neyshikh issledovaniy»* [Proc. of the IX All-Russian meeting on the study of the Quaternary period «Fundamental problems of the quarter, the results of the study and the main directions of further research»]. Irkutsk, Institut geografii im. V.B. Sochavyi SO RAN Publ., 2015, pp. 509–510. (in Russian).
17. Yakutseni S.P., Burovskiy A.M. *Politicheskaya ekologiya* [Political ecology]. SPb., AuraInfo i Soyuz pisateley Sankt-Peterburga Publ., 2011, 528 p. (in Russian).
18. Barnosky A.D., Holmes M., Kirchholtes R. et al. Prelude to the Anthropocene: Two new North American Land Mammal Ages (NALMAs). *The Anthropocene review*, 2014, Vol. 1, no 3. pp. 225–242. (in USA).
19. Bogdanov N.A., Paranina A.N. Technogenic transformations of sea coasts on the Baltica sea. *International Journal of Geography and Geology*, 2017, no 2, pp. 26–31. (in Malaysia). DOI: 10.18488/journal.10/2017.6.2/10.2.26.31.
20. Crutzen P.J., Stoermer E.F. The «Anthropocene». *Global Change Newsletter*, 2000, Vol. 41, pp. 17–18. (in USA).
21. De Wever P., Finney S. The Anthropocene: a Geological or Societal Subject? Biodiversity and Evolution (Eds. P. Grandcolas, M.-C. Maurel). Amsterdam: Elsevier Publ., 2018. pp. 251–264. (in Holland).
22. ICS chart containing the Quaternary and Cambrian GSSPs and new stages (v 2018/07) is now released! International Commission on Stratigraphy: <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-news-and-meetings/120-ics-chart-containing-the-quaternary-gssps-and-new-stages-v-2018-07-is-now-released> (last accessed 26. 04. 2019).
23. *Novaya Zemlya. Ecological Security of Underground Nuclear Test* (Ed. J. Baarli). University Oslo. Moscow Publ., 1991, 61 p. (in Norway, Russian).
24. Steffen W., Grinevald J., Crutzen P., McNeil, J. The «Anthropocene»: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2011. Vol. 369. 843 p.
25. Zalasiewicz J., Williams M., Smith A. et. al. Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*. 2008. Vol. 18, no 2, pp. 4–8.

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ  
FROM THE HISTORY OF SCIENCE

УДК 55

ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ МУЗЕЮ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО РАН — 260 ЛЕТ

*Ю.Н. МАЛЫШЕВ, И.А. СТАРОДУБЦЕВА, А.В. ТИТОВА, С.В. ЧЕРКАСОВ*

*Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН  
стр.11, д. 11, ул. Моховая, Москва 125009, Россия  
e-mail: office@sgm.ru*

Государственный геологический музей им. Вернадского Российской академии наук является старейшим естественно-научным музеем Москвы. Большая часть его истории — немногим более 170 лет — связана с Императорским Московским университетом, а формирование музейных коллекций — с именами выдающихся отечественных естествоиспытателей — Г.И. Фишера фон Вальдгейма, Г.Е. Щуровского, А.П. Павлова, М.В. Павловой, В.И. Вернадского и их учеников и последователей. Со временем музей разделился на Геологический и Минералогический кабинеты, преобразованные затем в отдельные музеи. В 1930 г. Минералогический и Геолого-палеонтологический музеи университета были переданы в образованный Московский геологоразведочный институт, сотрудники и студенты которого внесли большой вклад в формирование коллекций музеев. В 1987 г. музеи были объединены в Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского, который находится в настоящее время в составе учреждений Российской академии наук. ГГМ РАН является крупнейшим научно-просветительским центром в области геологии и горного дела.

Ключевые слова: история; музей; геология; образование.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-75-80

260TH ANNIVERSARY OF THE VERNADSKY STATE GEOLOGICAL MUSEUM OF RAS

*YU.N. MALYSHEV, I.A. STARODUBTSEVA, A.V. TITOVA, S.V. CHERKASOV*

*Vernadsky State Geological Museum of Russian Academy of Sciences  
11, building 11, Mohovaya street, Moscow 125009, Russia  
e-mail: office@sgm.ru*

Vernadsky State Geological Museum of Russian Academy of Sciences is the oldest museum of natural history in Moscow. About 170 years of its history were connected with the Moscow Imperial University, and the formation of museum collections is tightly connected with the names of the outstanding Russian naturalists such as G.I. Fischer von Waldheim, G.E. Shchurovsky, A.P. Pavlova, M.V. Pavlova, V.I. Vernadsky, and their students and followers. Later, the museum was divided in two parts: Geological and Mineralogical cabinets, than they turned to the museums (Mineralogical and Geological-Paleontological museums). From 1930 to 1987 the both museums belonged to the Moscow Geological Prospecting Institute, and its professors and students largely contributed to the collections. In 1987, two museums were combined to the Vernadsky State Geological Museum of RAS (SGM RAS), which now is the largest scientific and educational center in the fields of geology and mining.

Keywords: history; museum; geology; education.

Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского — приемник Музея естественной истории Императорского Московского университета — ведет своё летоисчисление с 1759 г. Именно в тот год в университет поступила первая коллекция — 6000 образцов минералов и руд, подаренных Прокофием, Григорием и Никитой Демидовыми.

Коллекцию разместили в помещении библиотеки в здании Главной аптеки у Воскресенских ворот на Красной площади, а в 1791 г. перевезли в построенное по проекту М.Ф. Казакова университетское здание на Моховой улице. В октябре 1805 г. шесть залов музея площадью около 1000 м<sup>2</sup> открылись для широкой публики. К началу XIX в., во многом благодаря Иоганну Готтгельфу (Григорию Ивановичу) Фишеру фон Вальдгейму (1771—1853), Музей стал обладателем одной из лучших в Европе минералогических коллекций. Находясь во главе Музея с 1804 по 1832 гг., Г.И. Фишер фон Вальдгейм заботился о пополнении его коллекций, а в 1806—1807 гг. составил трёхтомный каталог «Музея Демидова» — собрания книг, минералов и окаменелостей, в 1803 г. преподнесённых в дар Московскому университету П.Г. Демидовым. На долю Г.И. Фишера фон Вальдгейма выпало и возрождение Музея, понёсшего значительный урон в пожаре Москвы 1812 г. [1].

В 1835 г. Музей разделили на два кабинета — Зоологический и Минералогический, заведовать последним стал профессор геологии университета Григорий Ефимович Щуровский (1804—1883). Отметим, что благодаря его стараниям, Московский университет изыскал возможность приобрести представительную по таксономическому составу коллекцию юрских ископаемых из известного местонахождения Золенгофен (Бавария, Германия). Коллекции кабинета увеличивались не только за счёт покупок, но и приумножались дарами меценатов, сотрудников и студентов университета, передававших сюда коллекции и отдельные образцы, привезённые из геологических экскурсий.

В 1861 г. естественно-научные коллекции переместили в Дом Пашкова, где планировалось создание национального естественно-научного музея. Эта идея не была реализована и через два года коллекции были возвращены в университет.

В 1863 г. Минералогический и Зоологический кабинеты приобрели статус отдельных музеев, а в 1870 г. из Минералогического кабинета (музея) выделили Палеонтологический кабинет, позднее переименованный в Геологический.

В 1880 г. хранителем Геологического кабинета (музея) был назначен Алексей Петрович Павлов (1854—1929), ставший позднее профессором, заведующим кафедрой геологии Московского университета и основателем первой в стране геологичес-

кой школы. Все 49 лет работы в университете он заведовал кабинетом и не оставлял заботы о приумножении его фондов. С 1885 г. в музее работала, причем более 30 лет бесплатно, Мария Васильевна Павлова (1854—1938), одна из первых отечественных женщин-палеонтологов и первая женщина-профессор зоологии Московского университета. В 1890 г. по приглашению А.П. Павлова в университете начал работать В.И. Вернадский (1863—1945): сначала хранителем, а затем — заведующим кафедрой минералогии и кристаллографии и Минералогическим кабинетом. С именами этих выдающихся отечественных естествоиспытателей связан не только небывалый рост фондов, но и формирование на базе Геологического и Минералогического кабинетов научных центров. Ученики А.П. Павлова и В.И. Вернадского не только привозят каменный материал из геологических экскурсий и экспедиций, но и занимаются его изучением, публикуя результаты в научных статьях и монографиях.

А.П. Павлов, будучи ведущим специалистом в области стратиграфии и палеонтологии юрских и нижнемеловых отложений, ориентировал своих учеников прежде всего на решение проблем, связанных со стратиграфией и палеонтологией. Его ученики вели интенсивные геологические исследования на Урале, в Крыму, Поволжье, Прибалтике, Центральной России. В результате в кабинет поступили юрские и нижнемеловые ископаемые Рязанской губернии, силурийские и девонские беспозвоночные из окрестностей Санкт-Петербурга, силурийские ископаемые с о. Эзель, окаменелости из каменноугольных отложений Московской губернии. Много сделала для комплектования Геологического кабинета М.В. Павлова. Собранные и изученные ею коллекции ископаемых млекопитающих по сути сформировали раздел фондов музея по ископаемым позвоночным.

В.И. Вернадский начал работу в Минералогическом кабинете с каталогизации и систематизации коллекций, уделял большое внимание их пополнению. Из зарубежных поездок он всегда привозил в музей образцы минералов, прежде отсутствующих или недостаточно широко представленных в фондах. Вместе со своими учениками В.И. Вернадский совершал минералогические экскурсии на Урал и Кавказ, в Подмоскovie и Крым, во время которых отбирались образцы минералов для пополнения фондов Минералогического кабинета [5]. Минералы приобретались в минералогических конторах как за счёт университета, так и на личные средства В.И. Вернадского и его учеников: в 1899 г. в Минералогический кабинет поступили метеориты (хондриты) «Хеиле», «Нью-Кэнкэд» и «Княгиня», купленные в фирме «BOUHM» В.И. Вернадским и А.О. Шкляревским.

Фонды Геологического и Минералогического кабинетов увеличивались из года в год, возрастало и число научных публикаций, написанных по результату изучения коллекций. В 1907 г. А.П. Павлов и В.И. Вернадский «представили Техническое задание на проектирование здания специально для Минералогического и Геологического институтов (с музеями и библиотеками) Московского университета, которое решено было строить по соседству с основным корпусом университета [1]. В 1910 г. штатный архитектор университета А.С. Гребенщиков составил предварительный эскизный проект здания, который был одобрен профессорами А.П. Павловым и В.И. Вернадским. В 1911 г. В.И. Вернадский покинул Императорский Московский университет, а годом позже ушел из университета и А.С. Гребенщиков. В 1912 г. проект корректировал архитектор Департамента народного просвещения инженер Н.К. Бакеев. Ректор университета М.К. Любавский пригласил академика архитектуры Романа Ивановича Клейна (1858—1924) руководить строительством здания. Р.И. Клейн стал автором детальных чертежей нового рабочего проекта и архитектором-строителем здания. Здание для институтов и музеев с библиотеками возводилось в центре города на Моховой улице в 1914—1918 гг.

Геолого-палеонтологический и Минералогический музеи переехали в новое просторное здание. В 1926 г. Геолого-палеонтологическому музею было присвоено имя академиков А.П. Павлова и М.В. Павловой. Минералогический музей стал носить имя В.И. Вернадского с 1980 г.

В 1930 г. на базе геолого-разведочного факультета Московской Горной академии был создан Московский геологоразведочный институт (МГРИ), который и стал хозяином здания и музеев, куда поступили коллекции из Горной академии. Фонды Геолого-палеонтологического и Минералогического музеев стали пополняться стараниями сотрудников и студентов института. Уже первые выпускники МГРИ Ю.А. Одинец и А.Г. Шпилько в 1937 г. передали в музей образцы касситерита и вольфрамиты из вновь открытого на Чукотке Иульгинского месторождения [3]. В музей поступали монографические палеонтологические и палеоботанические коллекции, послужившие основой для научных публикаций сотрудников МГРИ, образцы минералов, горных пород и руд, привезённые из экспедиций сотрудниками, а из студенческих геологических практик и экскурсий из года в год пополняли фонды музеев.

1987 г. стал переломным в истории музеев — МГРИ переехал в новое

здание на юго-западе столицы, сюда же планировалось переместить и музеи, для которых места в новом здании не было. На защиту музеев встали выпускники, сотрудники, студенты МГРИ, научные работники геологических институтов Москвы, их обращения в прессу, на телевидение, в Моссовет были услышаны и Постановлением Совета Министров СССР «О 125-летию со дня рождения В.И. Вернадского» от 1 декабря 1987 г. Геолого-палеонтологический музей им. А.П. и М.В. Павловых и Минералогический музей им. В.И. Вернадского были объединены в Государственный геологический музей (ГГМ) им. В.И. Вернадского под управлением Академии наук СССР и Министерства высшего и среднего образования РСФСР.

Объединённым музеям надо было решать непростые задачи, связанные с новой системой учёта фондовых коллекций объединённого музея, встала проблема ремонта здания и модернизации экспозиций. Учебные музеи должны были стать общедоступными.

В 1990—1991 гг. Академия наук СССР выделила средства на проведение геологических экспедиций на Таманский п-ов для сбора остатков ископаемых хоботных и носорогов таманского фаунистического комплекса и Криворожский железорудный бассейн для отбора руд.

Фонды музея ежегодно пополняются — минералы, горные породы, ископаемые передают сотрудники музея, образцы дарят, не забывая традицию, выпускники МГРИ, дирекция выделяет средства на приобретение новых экспонатов. Наиболее крупными дарами за последнее десятилетие стали коллекции Сергея Михайловича Миронова и Александра Петровича Дворяшина.

Музей с 1998 г. издает журнал «VM-Novitates. Новости из Геологического музея им. В.И. Вернадского», в котором публикуются результаты изучения музейных коллекций.



Рис. 1. Фрагмент экспозиции «История развития органического мира». ГГМ РАН

В настоящее время в музее работают экспозиции «Мир минералов», «Земля и геосферы», «История развития органического мира» (рис. 1), «Геологический очерк окрестностей Москвы», «Исторические коллекции», «Геологическая кунсткамера», «Коллекция Сергея Михайловича Мирнова» (рис. 2). Музей организует временные выставки как на площадке музея, так и выездные. С 2011 г. в музее проводится фотовыставка, приуроченная ко Дню геолога. Создана интерактивная экспозиция «Шахта Академическая». Легендарный подводный обитаемый аппарат «Аргус» встал на стоянку у здания музея.

Современные условия развития общества требуют расширения и обновления естественно-научного музея, как общественной формации, призванной нести знания, духовно-нравственные и культурные ценности. Важнейшим в современном образовательном процессе являются инновационные интерактивные приемы, способные расширять кругозор учащегося, помогающие творчески подходить к изучаемому объекту.

Одним из приоритетных направлений деятельности Музея является формирование на базе ГГМ им. В.И. Вернадского РАН коммуникационной площадки для развития непрерывной системы образования молодёжи в области геологии и природопользования, воспитания экологического мировоззрения, профориентации на специальности горно-геологического и нефтегазового профиля. На базе музея совместно с ведущими сырьевыми

вузами Москвы создан первый в РФ Межвузовский Академический Центр навигации по специальностям горно-геологического профиля. На площадке Центра ГГМ РАН сформирована коммуникационная среда, адаптированная к новым задачам образовательной сферы. Созданы естественные условия гармоничного развития, воспитания, просвещения школьников. Через интерактивные приёмы и инновационные методические подходы создаются условия для свободного выбора профессий горно-геологического профиля.

На материалах музея сегодня готовятся и проводятся интерактивные уроки для учащихся школ, специализированные программы, семинары, лекции, мастер-классы, квесты, практические занятия и т. д. С 2016 г. открылась Детская интерактивная игровая, на площадях которой расположились экспозиции: «Биосфера живого и косного», «Человек и биосфера», «Миры Вернадского», «Минералы — символы регионов России», интерактивные тренажеры, зона кинозала (для просмотра тематических фильмов для детей и студентов). Одна из экспозиций предназначена для слепых, слабовидящих и слабослышащих детей, позволяющая самостоятельно (прикасаясь к каменному материалу) работать и получать знания.

В рамках целей и задач Центра ГГМ РАН подготовлены целевые программы по направлениям для разных возрастных групп. Так же выделены отдельные программы для работы с детьми с ограниченными физическими возможностями, включающие в себя подготовку помимо экскурсий, мастер-классов, квестов. В рамках работы Центра ГГМ РАН реализуются проекты «Вырасти своего студента», Всероссийский — «Богатство недр моей страны» (рис. 3), «В таланте все едины».

Системная работа с образовательными учреждениями г. Москвы и регионов РФ уже даёт свои положительные результаты. Благодаря организованной студии звукозаписи, оснащённой самым современным оборудованием, ведутся онлайн-трансляции лекций и мастер-классов, проводятся телемосты со всеми образовательными учреждениями РФ. Телемосты, проводимые на площадке Центра, объединяют высшие и средние учебные заведения РФ и стран ближнего зарубежья, крупные сырьевые компании. В телемостах принимают участие образовательные учреждения РФ, Казахстана, Киргизии, Белоруссии (рис. 4).

Разработанные в рамках целей и задач методология и программы можно рассматривать в двух аспектах: как теоретический, создающий новые подходы к воспитанию молодёжи в современных условиях развития общества, так и практический, ориенти-



Рис. 2. Экспозиция «Коллекция Сергея Михайловича Мирнова». ГГМ РАН

рованный на решение практических проблем в целенаправленном воспитании подрастающего поколения. Теоретический аспект — это разработка модели идеального знания, практический — программа (алгоритм), набор приёмов и способов, инструментариев того, как достичь желаемой практической цели. Эти два аспекта тесно связаны между собой и взаимно корректируются в процессе работы.

По совокупности методологических решений, создаваемых проектов, практической реализации задач, внедрению научно-просветительских инновационных программ создан сегмент Школа—Вуз—Производство. Такой симбиоз даёт возможность решить поставленные задачи перед сырьевым сектором экономики в направлении формирования достойного кадрового резерва для современного производства и науки.

Совершенно ясно, что такое объединение образовательных учреждений в едином проекте с естественно-научным музеем, использование инновационных интерактивных приёмов в образовательной системе для детей и молодёжи, формируют принципиально новую коммуникационную среду для непрерывного образования в области наук о Земле для профориентации на специальности горно-геологического профиля [2].

ГГМ РАН проводит как фундаментальные, так и прикладные научные исследования. В рамках фундаментальных исследований работы ведутся по двум темам: «Разработка информационной среды интеграции данных естественно-научных музеев и сервисов её обработки для наук о Земле» и «Создание коммуникационной стратегии оптимизации образовательного процесса по естественно-научным предметам в области наук о Земле музейными средствами. Профилирование учащих образовательных учреждений по специальностям горно-геологического профиля.» Обе темы имеют прямое отношение к деятельности естественно-научного музея. Что касается информационных технологий, в 2018 г. открыта бета-версия Портала открытых данных ([www.data.sgm.ru](http://www.data.sgm.ru)), обеспечивающего дистанционный доступ к фондам ГГМ РАН [4]. Работа по второй теме обеспечивает научно-просветительское направление работ ГГМ РАН.



Рис. 3. Конкурсная комиссия оценивает работу участника Проекта «Богатство недр моей страны»



Рис. 4. Проведение телемоста в ГГМ РАН

Наиболее успешными примерами прикладных научных исследований стали работы, проведенные совместно с Грозненским нефтяным техническим университетом им. М.Д. Миллионщикова по созданию опытно-промышленной геотермальной тепловой станции на основе циркуляционной системы теплоотбора, и проект по разработке беспилотного аэромагнитного комплекса, выполненный совместно с группой компаний «Геоскан».

В год своего 260-летия ГГМ РАН готовит перевод на английский язык Путеводителя по залам музея, новые экспозиции и выставки. В настоящее время музей — крупнейший научно-просветительский центр в области геологии и горного дела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б е с с у д н о в а З.А. Геологические исследования в Музее естественной истории Московского университета, 1759—1930 / От вред. Ю.Я. Соловьев. М.: Наука, 2006. 246 с.
2. М а л ы ш е в Ю.Н., Т и т о в а А.В., П у ч к о в А.Л., Т и т о в Г.И. Принципиальная модель создания единой коммуникационной среды для формирования кадрового резерва для производства и науки минерально-сырьевого сектора экономики РФ // Горная промышленность. 2018. № 1 (137). С. 17—20.
3. Р о м а н о в а В.В. История открытия и освоения Иульгинского оловянно-вольфрамового месторождения // Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 3. С. 65—73.
4. Ч е р к а с о в С.В., Н а у м о в а В.В., П л а т о н о в К.А., Д ь я к о в С.Е., Е р е м е н к о В.С., П а т у к М.И., С т а р о д у б ц е в а И.А., Б а с о в а В.Б. Основные принципы разработки открытого доступа к фондовым данным Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН // Информационные ресурсы России. 2018. 4 (164). С. 9—14.
5. Ч е р н е н к о В.В., А н д р е е в а И.П., С а м с о н о в а Н.Н. Владимир Иванович Вернадский и собрание Минералогического кабинета Императорского Московского университета // Наука и просвещение. Посвящается 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского. Сборник научных трудов ГТМ РАН. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. С. 99—122.

REFERENCES

1. Bessudnova Z.A. *Geological research in Moscow University Natural History Museum (1759—1930)*. Responsible editor Yu.Ya. Soloviev. Moscow, Nauka Publ., 2006, 246 p. (In Russian)
2. Malyshev Yu.N., Titova A.V., Puchkov A.L., Titov G.I. *The principal model of creating a unified communication environment for the formation of a personnel reserve for the production and science of the mineral sector of the Russian economy. Mining industry, 2018, no. 1 (137), pp. 17—20.* (In Russian)
3. Romanova V.V. *Istoriya otkrytiya i osvoeniya Iul'tinskogo olovyanno-vol'framovogo mestorozhdeniya. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], no 3, 2018, pp. 65—73.*
4. Cherkasov S.V., Naumova V.V., Platonov K.A., D'yakov S.E., Eremenko V.S., Patuk M.I., Starodubtseva I.A., Basova V.B. *Basic principles of development of open access to data of the State geological Museum V. I. Vernadsky RAS. Information resources of Russia, 2018, no. 4, pp. 9—14.* (In Russian)
5. Chernenko V.V., Andreeva I.P., Samsonova N.N. *Vladimir Vernadsky and the collection of the Mineralogical Cabinet of the Imperial Moscow University. Science and education. Dedicated to the 150th anniversary of academician V.I. Vernadsky. Collection of scientific proceedings of the SGM RAS.* Ekaterinburg, UIPTS Publ., 2012, pp. 99—122 (In Russian)



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ  
CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

УДК 551.461:551.76(470.4)(0.062)

**О КНИГЕ «КОГДА ВОЛГА БЫЛА МОРЕМ. ЛЕВИАФАНЫ И ПИЛИГРИМЫ»<sup>1</sup>**

*В.Н. КОМАРОВ*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: komarovmri@mail.ru*

Рецензируемая книга представляет собой научно-популярную сводку по мезозойской фауне Поволжья. В горных породах, оставшихся от Русского моря, сохранилось множество остатков ихтиозавров, плезиозавров, мозазавров, плиозавров, крайне важных для понимания эволюции мезозойских морских рептилий. За последние годы в их изучении в России сделано больше, чем за два предыдущих столетия. Стало очевидно, что роды и виды морских рептилий были практически одинаковыми по всей планете. Поволжье с его обширными отложениями мезозойского моря является одним из важнейших в мире регионов для изучения рептилий и заполняет сразу несколько «белых пятен» в их истории. В книге рассказано также о морских крокодилах, морских черепахах, динозаврах, птерозаврах, птицах, рыбах, различных головоногих моллюсках. Проанализированы данные об особенностях морфологии и образа жизни, о географическом и стратиграфическом распространении, сведения о палеогеографической обстановке и её изменении в течение мезозойской эры. Приведены сведения о наиболее известных и продуктивных местонахождениях. Рассмотрены перспективы дальнейших исследований.

К л ю ч е в ы е с л о в а: морские рептилии; мезозой; Поволжье.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-81-82

**ABOUT THE BOOK «WHEN THE VOLGA WAS THE SEA. LEVIATHAN AND THE PILGRIMS»**

*V.N. KOMAROV*

*Russian State Geological Prospecting University  
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia  
e-mail: komarovmri@mail.ru*

The reviewed book is a popular scientific summary of the Mesozoic fauna of the Volga region. Many remains of ichthyosaurs, plesiosaurs, mosasaurs, and pliosaurs, which are extremely important for understanding the evolution of Mesozoic marine reptiles, were preserved in the rocks left over from the Russian sea. In recent years, many researches were done for their study in Russia, more, than in the previous two centuries. It became apparent that the genera and species of marine reptiles were virtually identical across the planet. The Volga region with its extensive deposits of the Mesozoic sea is one of the most important regions in the world for the study of reptiles and fills several «white spots» in their history. The book also tells about sea crocodiles, sea turtles, dinosaurs, pterosaurs, birds, fish, and various cephalopods. The data on the features of their morphology and lifestyle, geographical and stratigraphic distribution, information about the paleogeographic situation and its changes during the Mesozoic era have been analyzed. Data on the most known and productive locations have been given. The prospects of further research have been considered.

К е у о r d s: marine reptiles; Mesozoic; Volga region.

Рецензируемая книга представляет собой интересную научно-популярную сводку по мезозойской фауне Поволжья. У каждой геологической эпохи были свои особенности. Мезозойская эра отличалась тёплым и

ровным климатом. Это позволило выйти на первое место группе позвоночных, которая многие миллионы лет находилась в тени — рептилиям. Они потеснили своих конкурентов — амфибий и звероящеров и заняли наи-

<sup>1</sup>Нелихов А.Е., Архангельский М.С., Иванов А.В. Когда Волга была морем. Левиафаны и пилигримы. М.: Университетская книга, 2018. 140 с.

более перспективные экологические ниши, став доминирующими организмами на суше, в море и в воздухе. Рептилии дали много причудливых форм и стали первыми позвоночными, которые массово вернулись с суши обратно в акватории. Господство рептилий продолжалось около 200 млн. лет — с начала триасового периода до конца мелового.

Палеогеографическое распределение морских рептилий было впечатляющим. Ему способствовало отсутствие полярных шапок, мягкий климат, а также повышения уровня Мирового океана. В течение мезозойской эры были этапы, когда уровень поднимался на 200 м выше, чем в настоящее время. Огромные территории, которые мы привыкли считать сушей, лежали под водой. К ним относились большая часть Европы, почти вся Европейская Россия, многие регионы Северной Америки, Африки и Азии.

В числе затопленных участков было и Поволжье. Большую часть мезозойской эры в этом регионе располагался обширный морской бассейн с живописными архипелагами. Уже в триасовом периоде по южной окраине Поволжья проходил берег эпиконтинентального моря, связанного с южным океаном Тетис. В середине юрского периода повышение уровня Мирового океана привело к затоплению всего Поволжья.

Примерно в районе современной Казани встретились два эпиконтинентальных бассейна, связавшие северный Бореальный океан и южный океан Тетис — так появилось Русское море. На востоке оно доходило до Уральских гор, на западе было ограничено Воронежским массивом суши, на севере и юге уходило в океаны. Русское море занимало площадь, примерно равную двум современным Средиземным морям. За миллионы лет не раз менялись его солёность, температура, течения, химический состав воды. В основном это был не очень глубокий (20—30 м) бассейн с нормальной солёностью. Во второй половине мелового периода связь Русского моря с северным океаном нарушилась. Оно вновь превратилось в обширный залив южного океана Тетис, постепенно мелело и покрывалось островами.

В горных породах, оставшихся от Русского моря, сохранилось множество остатков ихтиозавров, плезиозавров, мозазавров, плиозавров, крайне важных для понимания эволюции мезозойских морских рептилий. В Европейской России, особенно в Среднем и Нижнем Поволжье, эти кости собирали на протяжении 200 лет. Однако посвящённые морским рептилиям редкие публикации состояли из формальных, зачастую неверных описаний. Ситуация стала меняться 15—20 лет назад. Несколько масштабных ревизий в разы сократили число таксонов. Началось активное исследование новых находок, а также переизучение материалов, хранившихся в музейных коллекциях. За последние годы в изучении морских рептилий России сделано больше, чем за два предыдущих столетия. Очень важным стало признание широчайших миграций морских рептилий. Стало очевидно, что их роды и виды были практически одинаковыми по всей планете, населяли все моря и океаны и были такими же мобильными, как современные дельфины и киты. Поволжье с его обширными отложениями мезозойского моря стало одним из важнейших в мире регионов для изучения морских рептилий и заполнило сразу несколько «белых пятен» в их истории.

Помимо упомянутых рептилий в книге рассказано также о морских крокодилах, морских черепахах, динозаврах, птерозаврах, птицах, рыбах, различных головоногих моллюсках, а также об уникальной находке целого ствола юрского древовидного папоротника. Проанализированы данные об особенностях их морфологии и образа жизни, о географическом и стратиграфическом распространении, палеогеографическая обстановка и её изменения в течение мезозойской эры. Приведены факты о наиболее известных и продуктивных местонахождениях. Многие данные подробно освещают проблему неполноты палеонтологической летописи.

Изложены многочисленные малоизвестные, в том числе архивные исторические сведения, повествующие о конкретных людях — учёных (в том числе бывших студентах МГРИ), любителях-энтузиастах, коллекционерах, простых рабочих, краеведах, школьниках, сделавших интересные находки. Читатели узнают много нового о методике поисков окаменелостей, различных формах их сохранности, способах бережного сохранения непрочных образцов, различных методах исследований, получают возможность задуматься о роли личности и роли случая в поисках ископаемых остатков.

Реконструкции древних существ проникнуты поэтическим чувством живой природы. Отдельно хотелось бы отметить фотографии Д.В. Григорьева, отличающиеся лёгкостью изящного лаконизма и внутренней эмоциональной лирической выразительностью.

В книге содержатся ссылки на многочисленные (86) литературные, в том числе электронные, источники, которые могут помочь читателям познакомиться с различными вопросами подробнее.

Следует отметить, что авторами затронута ещё одна важная проблема, связанная с тем, что многие находки ископаемых остатков хранятся у энтузиастов дома. О них мало кто знает, не говоря уже о том, что они не изучены специалистами. А ведь не исключено, и это подтверждается сведениями, изложенными в рецензируемой книге, что многие из них могут оказаться потенциально важными для науки, заслуживающими описания и опубликования.

В конце публикации отмечено, что первое издание данной книги, вышедшее в 2012 г., было меньше по объёму почти в пять раз. Всего за шесть лет удалось выяснить много новых важных особенностей морских рептилий Поволжья, их строения, образа жизни, родословной. В настоящее время идёт подробное описание плезиозавра Luskhan, изучается найденный в Поволжье череп гигантского раннемелового плиозавра, завершается препарирование остатков необычного ихтиозавра-карлика из Ульяновской области, готовится описание морских черепах Саратовской области. Анализируются находки мозазавров — плиоплатекарпов и тилозавров, прежде достоверно неизвестных на территории России. Намечена ревизия рептилий середины мелового периода — загадочных полиптиходонов и последних ихтиозавров.

Рецензируемая книга стала новой страницей в ярком и самобытном творчестве авторов. Она в очередной раз раскрыла лучшие стороны их таланта — умение воссоздать в мельчайших деталях не только, казалось бы, навеки утраченный моноклитный образ морских рептилий мезозоя, но и воспроизвести во всей широте стихию жизни этой далёкой эпохи.

ХРОНИКА  
CHRONICS

ПАМЯТИ ВЛАДЛЕНА РУВИМОВИЧА ЛОЗОВСКОГО  
(28.03.1936 — 19.06.2018)

TO THE MEMORY OF VLADLEN RUVIMOVICH LOZOVSKY  
(28.03.1936 — 19.06.2018)

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-83-84

В.Р. Лозовский родился 28 марта 1936 г. в г. Харькове в семье служащих. Мать работала рентгенотехником, а отец был старшим инженером в Народном Комиссариате Угольной промышленности. Во время Великой Отечественной войны В.Р. Лозовский эвакуировался с матерью в г. Прокопьевск, а после смерти отца в мае 1943 г. переехал в Москву. После окончания средней школы в 1954 г. он поступил в Московский геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе на геологоразведочный факультет, который окончил в 1959 г., получив специальность горного инженера-геолога. После завершения учёбы В.Р. Лозовский был направлен на работу во Всесоюзный гидрогеологический трест (с 1962 г. — Второе гидрогеологическое управление Министерства геологии СССР), где работал прорабом-геологом, инженером-геологом, а с 1960 г. — старшим геологом партии Костромской экспедиции. В.Р. Лозовский являлся ответственным исполнителем комплексной геолого-гидрогеологической съёмки трёх листов Государственной геологической карты СССР масштаба 1:200000, которые он подготовил к изданию и защитил на редсовете ВСЕГЕИ. Уже в первые годы трудовой деятельности Владлен Рувимович заинтересовался проблемами стратиграфии триасовых отложений, что определило направление его научной деятельности на многие годы.

В 1966 г. В.Р. Лозовский поступил на очное отделение аспирантуры на кафедру региональной геологии и палеонтологии МГРИ, где под научным руководством члена-корреспондента АН СССР, профессора М.В. Муратова защитил в 1969 г. кандидатскую диссертацию на тему «Триасовые отложения осевой зоны Московской синеклизы». После окончания аспирантуры В.Р. Лозовский был направлен в научно-исследовательский сектор (НИС) МГРИ, где работал младшим научным сотрудником, а с 1971 г. — старшим научным сотрудником. В разные годы он занимался вопросами тектоники Север-



ного Предкавказья, вёл научно-исследовательскую работу по теме «Палеотектоника СССР в основные эпохи угленакопления». В.Р. Лозовский является соавтором пяти палеотектонических карт окончательного отчёта по данной теме, успешно защищенного на НТС «ВНИГРИУголь».

С 1970 г. В.Р. Лозовский начал работу на кафедре региональной геологии и палеонтологии сначала в должности ассистента, с 1976 г. — старшего преподавателя. С 1982 г. он сочетал работу в НИС с обязанностями доцента, с 1993 г. — профессора кафедры. В.Р. Лозовский вёл большую педагогическую работу. Он читал лекции и проводил лабораторные занятия по курсам «Стратиграфия», «Историческая геология», «Региональная геология СССР», «Историческая геология и региональная геология СССР», «Геотектоника», «Геология Африки», руководил курсовым проектированием, консультировал студентов-дипломников, участвовал в проведении Подмосковной и Крымской учебных геологических практик, возглавлял студенческие научные экскурсии. Совместно с В.Г. Очевым разработал проект учебной практики студентов МГРИ на Жирновском научно-образовательном полигоне (Волгоградская область), традиционно использовавшимся до этого только геологическим факультетом Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского (СГУ). Опыт проведения совместной практики МГРИ и СГУ был реализован в экспериментальном режиме в 1993 г. при непосредственном соуправлении В.Р. Лозовского.

В 1974 г. решением Высшей аттестационной комиссии В.Р. Лозовский был утверждён в учёном звании старшего научного сотрудника по специальности «стратиграфия и палеонтология». В 1992 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Раннетриасовый этап развития Западной Лавразии», и в 1993 г. решением Высшей аттестационной комиссии ему присуждена учёная степень доктора геолого-минералогических наук. В 1994 г.

решением Государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию В.Р. Лозовскому присвоено учёное звание профессора по кафедре региональной геологии и палеонтологии МГРИ.

В.Р. Лозовский свободно владел французским языком. В 1977—1980 гг. его командировали в Гвинейскую Народную Революционную Республику, где работал преподавателем горно-геологического факультета Конакрийского политехнического института. В это время он читал курсы «Палеонтология», «Историческая геология» и «Аэрометоды в геологии», осуществлял руководство учебной геологической практикой и дипломным проектированием для студентов горно-геологического факультета, а с 1978 г. возглавил кафедру геологии. За успешную работу по подготовке национальных кадров ему объявлена благодарность Советника по экономическим вопросам при Посольстве СССР в Гвинейской Народной Революционной Республике.

В 1986—1988 гг. В.Р. Лозовский находился в командировке в Республике Мали, где работал преподавателем геологического департамента Национальной инженерной школы в г. Бамако. Он читал лекции и проводил практические занятия по курсам «Палеонтология», «Стратиграфия», «Структурная геология» и «Геологическое картирование», а также руководил геологической практикой.

В.Р. Лозовский всегда активно участвовал в общественной работе. В разные годы он избирался профоргом кафедры, членом профбюро геологоразведочного факультета, членом профкома МГРИ, заместителем председателя общеинститутской комиссии по проведению социальным соревнованиям, ответственным на ГРФ за работу Красного Креста, с 1988 г. был ответственным по кафедре региональной геологии и палеонтологии за научно-исследовательскую работу.

Владлен Рувимович всегда с особым вниманием и доброжелательностью относился к начинающим исследователям, стремился оказать молодым коллегам максимальную поддержку. До последних дней жизни он был открыт для конструктивного общения. С ним всегда было возможным проконсультироваться, получить обстоятельный отклик на свою работу, ощутить поддержку мэтра, зарядиться его не иссякающим оптимизмом.

В.Р. Лозовский являлся одним из ведущих специалистов по стратиграфии триасовых отложений в мире. Он был активным участником многочисленных международных научных форумов в США, Германии, Китае и других странах. В 1970 г. Владлен Рувимович был избран в состав Постоянной комиссии МСК по триасовой системе, руководил секцией перми и триаса РМСК. Им разработана стратиграфическая схема континентальных триасовых отложений Московской синеклизы, опубликовано более 100 научных трудов, в том числе пять коллективных монографий, некоторые из которых были изданы за рубежом.

Владлен Рувимович является соавтором учебников, учебных пособий и методических разработок по различным дисциплинам, в том числе опубликованных на французском языке. Очень много сил и времени отдал В.Р. Лозовский подготовке экспозиций в геолого-палеонтологическом музее МГРИ. Уже находясь формально на заслуженном отдыхе, он совместно с В.М. Цейслером активно работал над модернизацией ряда экспозиций музея, в том числе посвященных геологическим практикам.

Все, с кем соприкасался В.Р. Лозовский в процессе своей многогранной деятельности, будут с благодарностью вспоминать его чуткость, честность, жизнелюбие, внимательное и благожелательное отношение к окружающим и удивительную работоспособность. До последних дней жизни он писал научные статьи, рецензии и готовил мемуары. Владлен Рувимович был тонким знатоком классической музыки (окончив музыкальную школу по классу виолончели при Гнесинском училище), очень любил природу. Имя В.Р. Лозовского увековечено в названиях ряда ископаемых организмов. В частности, в его честь названы новые формы (рода и виды) ранне-триасовых лабиринтодонтов, архозавров и двоякодышащих рыб, а также позднебарремских ринхолитов.

В.Р. Лозовский ушёл из жизни 19 июня 2018 г. после тяжёлой продолжительной болезни.

В памяти геологической общественности, коллег, друзей и многочисленных учеников В.Р. Лозовский останется как великий труженик, обязательный, дисциплинированный и ответственный исследователь, замечательный человек.