

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 5
СЕНТЯБРЬ—ОКТЯБРЬ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1958 г.

Выходит 6 раз в год



ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

МОСКВА-2019

**Известия высших учебных заведений. Геология и разведка
(Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka)**

ISSN (print) 0016-7762

**Proceedings of higher educational establishments.
Geology and Exploration**

ISSN (online) 2618-8708

Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ ФС77-59165 от 18.09.2014 г.

Председатель редакционного совета

В.А. Косьянов

Члены редакционного совета

А.И. Варламов, П.Н. Гусев, Е.А. Козловский,
Г.А. Машковцев, И.Г. Спиридонов, К.Н. Трубецкой (академик РАН)

Главный редактор

А.В. Лопатин (академик РАН)

Заместители главного редактора

В.В. Куликов, Ю.А. Попов

Члены редколлегии

М.М. Амро (Mohammed Musa Amro, Германия), О.С. Брюховецкий, М. Вердойа (Massimo Verdoya, Италия),
В.К. Гаранин, С.Д. Ганова, А.В. Дронов, П.А. Игнатов, В.Ю. Керимов, Н.Б. Кузнецов, В.С. Куликов,
А.В. Малков, А.В. Маслов (чл.-корр. РАН), Ю.Б. Марин (чл.-корр. РАН), З.М. Назарова,
В.А. Петров (чл.-корр. РАН), П.Ю. Плечов (профессор РАН), А.В. Самсонов (чл.-корр. РАН),
К.Ж. Семинский, Н.В. Соловьев, С.А. Тихоцкий (чл.-корр. РАН), А.В. Толстов, В.Ю. Фридовский,
Ш. Хуанг (Shaopeng Huang, Китай, США), Е.Н. Щурова (ответственный секретарь)

Редакция журнала

Е.Н. Щурова (заведующая редакцией)

Сдано в набор 15.09.2019.
Бумага офсет. № 1
Уч.-изд л.13,50.

Подписано в печать 12.10.2019.
Гарнитура Таймс
Тираж 200 экз.

Формат 60×90/8.
Усл. печ.л. 13,50.
Отпечатано в типографии
ООО «Принт», Ижевск

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Геология

- Гапоненко Е.С., Ульшин М.А., Комаров В.Н. Первые данные о роли ринхолитов в процессах эпибионтии 5
- Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Ильинский Е.И., Рябов И.П. Туронские—коньякские отложения юго-западной части Ульяновско–Саратовского прогиба 10

Минералогия, петрография, литология

- Маслов А.В. К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала 28
- Азарова Н.С., Бовкун А.В., Гаранин В.К., Варламов Д.А., Хонг Х.Л. Оксидные минералы кимберлитов Каави (Финляндия) 36

Полезные ископаемые, методика их поисков и разведки

- Свистунов В.В. Брекчиевые образования рудного участка Свобода Малмыжского золотомедно-порфирового месторождения (Хабаровский край) 50
- Чикатуева В.Ю., Ситкевич С.А. Минералогия золоторудного месторождения Дражное, Республика Саха (Якутия) 57

Техника геолого-разведочных работ

- Нескоромных В.В., Головченко А.Е., Попова М.С. Модернизация породоразрушающего инструмента для удар-

- но-вращательного бурения, реализующего внецентренное приложение ударных импульсов 64
- Неплевский М.О. Современные способы бурения скважин, применяемые для устройства буровых свай в условиях плотной городской застройки 70

Геофизические методы поисков и разведки

- Миронычев В.Г., Кашин Г.Ю. Применение технологии АНЧАР для поиска, разведки и вовлечения в разработку малых залежей нефти на территории Удмуртии 76

Геоэкология

- Ганова С.Д., Цымбал М.Н. Особенности проведения мониторинга водных объектов на территории поверхностных водозаборных сооружений нефтяных месторождений Крайнего Севера 82
- Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Распределение природных радионуклидов в почвах на территории Новой Москвы 88

Вопросы геолого-разведочного образования

- Гапоненко Е.С., Комаров В.Н. О результатах анализа исследовательско-методических функций тестового текущего контроля знаний по естественно-научным дисциплинам в МГРИ 95

Критика и библиография

- Комаров В.Н. О монографии «Наука геология и тектоника плит» 105

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION
2019, N 5

CONTENTS

Geology

- Gaponenko E.S., Ulshin M.A., Komarov V.N. The first data on the role of rhyncholites in the process of epibiota 5
Pervushov E.M., Seltser V.B., Kalyakin E.A., Ilyinskij E.I., Ryabov I.P. The Turonian—Coniacian deposits of the South-West of the Ulyanovsk-Saratov trough 10

Mineralogy, petrography, lithology

- Maslov A.V. To reconstruction of the river's categories which formed sedimentary basins of Riphean basins in the region of the Eastern European platform and modern South Urals juncture 28
Azarova N.S., Bovkun A.V., Garanin V.K., Varlamov D.A., Hong H.L. Oxide minerals of Kaavi kimberlites (Finland) 36

Useful minerals, methods of their prospecting and exploration

- Svistunov V.V. Breccias of Svobodaore area of Malmyzhskoe gold-copper porphyry deposit (Khabarovsk territory) 50
Chikatueva V.Yu., Sitkevich S.A. Mineralogy of the Drazhnoye gold ore deposit, the Republic of Sakha (Yakutia) 57

Geological exploration technique

- Neskoromnykh V.V., Golovchenko A.E., Popova M.S. Modernization of rock-cutting tool for rotary-percussion drilling that implements eccentric application of impact pulses 64

- Neplevsky M.O. Modern drilling technologies used for the making bored piles under the conditions of dense urban area 70

Geophysical methods of prospecting and exploration

- Mironychev V.G., Kashin G.Yu. Application of technology of acoustic low frequency exploration for exploration and development of small oil fields in Udmurt Republic 76

Geocology

- Ganova S.D., Tsymbal M.N. About the features of the water-bodies monitoring at the surface water-intake facilities of the oil fields of the Far North 82
Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Distribution of natural radionuclides in the soils on the territory of the New Moscow 88

Geologic and prospecting education issues

- Gaponenko E.S., Komarov V.N. The results of the analysis of the research-methodological functions of the test current control of knowledge for natural sciences in MGRI 95

Critics and bibliography

- Komarov V.N. About the monograph «Science geology and plate tectonics» 105

The Journal «Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration» (Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka) has been published since 1958

ISSN (print) 0016-7762
ISSN (online) 2618-8708

Editor-in-Chief

Lopatin Alexey Vladimirovich, Academician of the Russian Academy of Science (RAS), Doctor of Biological Sciences, Director of the Borissiak Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Kulikov Vladimir Vladislavovich, Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Academic Affairs, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

Popov Yuriy Anatol'evich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Skolkovo Institute of Science and Technology

Chairman of Advisory board

Kosyanov Vadim Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

Founder and publisher: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

Official web-site: <http://mgri.ru/>

Actual address: 117997, Russia, Moscow, st. Miklouho-Maklaya, 23, MGRI

Phone: 8 (495) 433-61-66

Journal web-site: <https://geology.mgri-rggru.ru>

e-mail: journal-geology@mgri.ru,

ГЕОЛОГИЯ
GEOLOGY

УДК 564.5:551.763.1(477.75)

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О РОЛИ РИНХОЛИТОВ В ПРОЦЕССАХ ЭПИБИОТИИ*

Е.С. ГАПОНЕНКО, М.А. УЛЬШИН, В.Н. КОМАРОВ

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

Впервые выяснена роль ринхолитов в процессах эпибиотии. Инкрустация серпулидами обнаружена у 39 ринхолитов из 979 экземпляров, что составляет 4% от всего изученного материала. Это свидетельствует о том, что ринхолиты крайне редко использовались прикрепляющимися организмами в качестве субстрата. Других эпибионтов не выявлено. Полихеты обнаружены у рода *Hadrocheilus* (87%) и у рода *Akidocheilus*. Размеры инкрустированных ринхолитов варьируют от 7 до 23 мм. Обычно серпулиды покрывают только вентральную сторону ринхолитов, при этом у 48,7% образцов эпибиотии с различной степенью интенсивности развиты на всей вентральной поверхности, у 30,7% они наблюдаются только на брюшной стороне капюшона, а у 20,6% серпулиды присутствуют лишь на вентральной поверхности рукоятки. У четырех экземпляров рода *Hadrocheilus* (10% от общего числа) полихеты имеются и на дорсальной поверхности, но при этом они всегда и обычно очень масштабно развиты и на брюшной стороне ринхолита. Не обнаружено ни одного образца, у которого серпулиды встречались бы только на спинной поверхности. Среди остатков многочетинковых червей выявлены и описаны крупные и мелкие трубки. Наличие серпулид на рукоятке ринхолитов, которая при жизни головоногого моллюска располагалась в роговой челюсти, однозначно свидетельствует о поселении эпибионтов на изолированных скелетных структурах погибших цефалопод. Случаи, когда серпулиды наблюдаются только на вентральной стороне капюшона у представителей рода *Akidocheilus*, позволяют предположить, что планктонные трохофоры — личинки полихет могли поселяться на внутренней поверхности надклювья живых аммоноидей, где и превращались во взрослого червя. При этом полихеты получали доступ не только к традиционной добыче, представленной различными микроскопическими организмами, но и к дополнительным пищевым ресурсам, связанным с жизнедеятельностью цефалопод.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ринхолиты; серпулиды; эпибиотия; нижний мел; Юго-Западный Крым..

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-5-9

**THE FIRST DATA ON THE ROLE OF RHYNCHOLITES
IN THE PROCESS OF EPIBIOTA**

E.S. GAPONENKO, M.A. ULSHIN, V.N. KOMAROV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: egorgapoo@gmail.com, may.ulshin@yandex.ru, komarovmgi@mail.ru*

For the first time the role of rhyncholites in the process of epibiota has been figured out. Serpulidae inlay is detected in 39 rhyncholites of 979 specimens, representing 4% of the all studied material. This fact demonstrates that rhyncholites were used extremely rarely by encrusting species as a substrate. No other epibionts were found. Polychaetes were found in the genus *Hadrocheilus* (87%) and in the genus *Akidocheilus*. Size of the inlaid rhyncholites ranges from 7 to 23 mm. Serpulidae cover usually only the ventral side of rhyncholites, herewith, at 48,7% of the samples epibionts with different degrees of intensity are developed throughout the ventral surface, at 30,7% of the samples they are observed only on the ventral side of the hood and at 20,6% serpulidae are present only on the ventral surface of the arm. At four exemplars of the genus *Hadrocheilus* (10 % of the total amount) polychaetes are developed on the dorsal surface, but they are always and usually very wide developed on the ventral side of rhyncholites. No samples were found in which serpulidae were found only on the dorsal surface. Among the remains



of polychaete worms, large and small tubes were identified and described. The presence of serpulidae on the handle of rhyncholites, that during the life of the cephalopod mollusk was located in a horny jaw, is a clear indication of the settlement's epibionts on isolated skeletal structures of the already dead cephalopod. Cases when serpulidae are observed only on the ventral side of the hood in representatives of the genus *Akidocheilus*, suggest that planktonic trochophore – larvae of polychaetes can settle on the inner surface of the mandible of living ammonoids, where they turned into an adult worm. At the same time, polychaetes gained access not only to traditional prey, represented by various microscopic organisms, but also to additional food resources associated with the life activity of cephalopods.

К е y w o r d s: rhyncholites; serpulidae; epibiota; Lower Cretaceous; South–Western Crimea.

Ринхолиты — кальцитовые кончики верхних челюстей головоногих моллюсков представляют собой типичную паратаксономическую группу [10, 14–17]. Лишь род *Rhyncholites* объединяет формы, сравнимые с такого же рода образованием в верхней челюсти современного наутилуса. Систематика остальных ринхолитов искусственная и основана на функционально-экологическом подходе, так как точная принадлежность ринхолитов к конкретным видам головоногих моллюсков почти не известна. Искусственная система ринхолитов вынужденно строится на отдельно взятых, обычно наиболее выразительных, легко уловимых признаках морфологического сходства и различия. В основу выделения видов у ринхолитов традиционно положены детали строения капюшона, выступавшего из роговой челюсти, и рукоятки, «крепившей» ринхолит к челюсти, а также пропорции разных частей ринхолита. Таксономическое значение указанных признаков субъективно, а оценка сходства и различия форм носит во многом интуитивный характер. Многие таксоны ринхолитов, по всей видимости, представляют собой искусственные группы, объединяющие виды различного происхождения, но обладающие параллельно возникшими сходными адаптивными чертами.

В общем комплексе вопросов, связанных с изучением ринхолитов, совершенно не исследованной до последнего времени оставалась их роль в процессах эпibiонтии. Следует отметить, что детальное изучение эпibiонтии чрезвычайно важно при комплексном анализе самых различных групп ископаемой фауны, на что неоднократно указывали исследователи [1–4, 11–13].

Прикрепление к субстрату цементацией или непосредственно твёрдой оболочкой отмечается у различных беспозвоночных, ведущих неподвижный образ жизни, причём одни из них прирастают всей нижней поверхностью, а другие только отдельной, чаще всего начальной частью скелетных структур. Субстратом для прикрепляющихся цементацией организмов является лишённое рыхлых наносов твёрдое дно бассейна, а также приподнятые над уровнем осадков предметы неорганического происхождения и твёрдые части скелетов как погибших, так и живых существ. Субстратом

прикрепления могут также служить всевозможные плавающие предметы. Вместе с ними организмы переносятся волнами и течениями и могут быть погребены вследствие этого на разных глубинах, в том числе в тонкозернистых осадках, с которыми они, как требующие для своего существования твёрдого субстрата, не могли быть связаны при жизни.

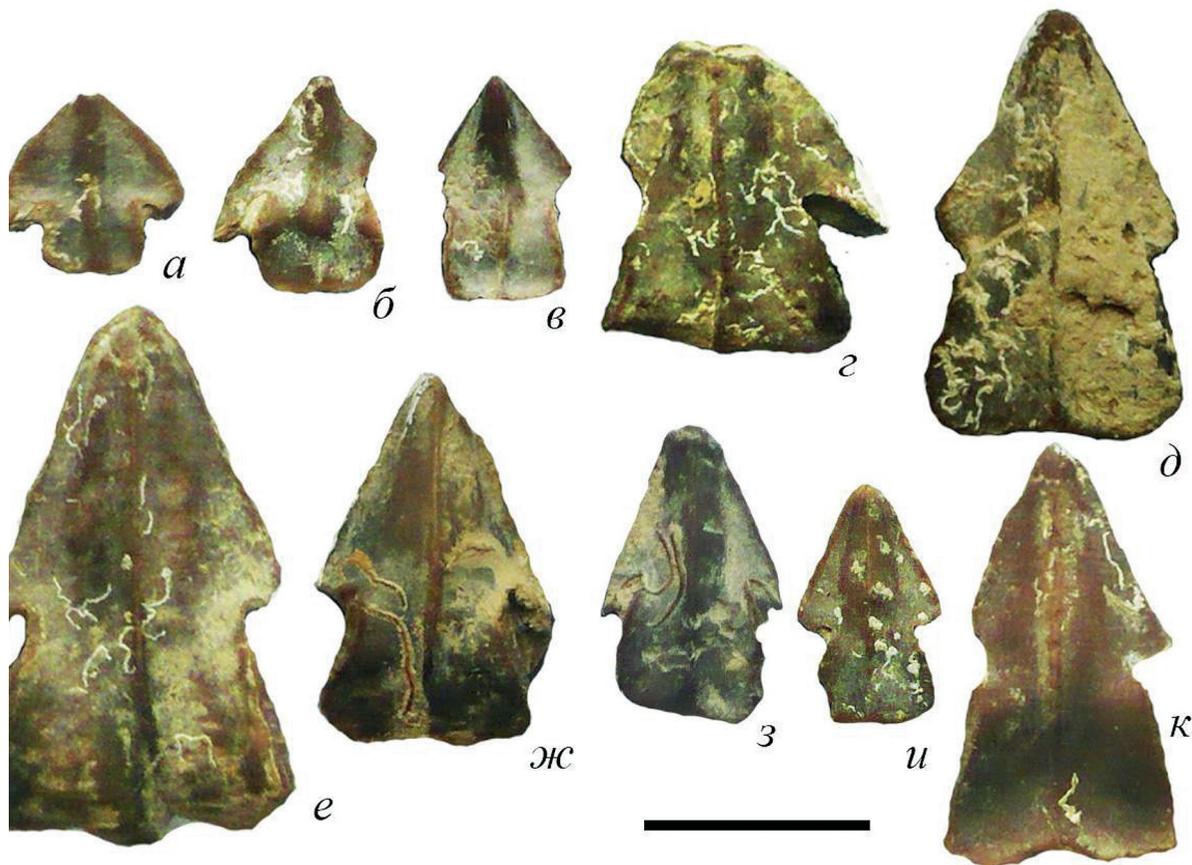
Материалом послужила коллекция ринхолитов В.Н. Шиманского (762 экз.), образцы В.Н. Комарова (136 экз.), а также материалы В.Н. Челядинова (с. Верхоречье, Крым), насчитывающие 81 экземпляр и переданные для изучения В.Н. Комарову. Таким образом, всего было проанализировано 979 экземпляров, происходящих главным образом из нижнемеловых отложений Горного Крыма [5–10, 18, 19].

Изученный материал хранится в Палеонтологическом институте РАН под № 441, 1265, 4729.

Результаты и их обсуждение

Инкрустация серпулидами обнаружена у 39 ринхолитов (все они происходят из нерасчлещённых верхнебарремско-аптских отложений окрестностей с. Верхоречье), что составляет 4% от всего изученного материала. Это, безусловно, свидетельствует о том, что ринхолиты крайне редко использовались в качестве субстрата прикрепляющимися организмами. Других эпibiонтов на ринхолитах не выявлено. Главным образом серпулиды обнаружены на ринхолитах рода *Hadrocheilus* (87%). Кроме того, они выявлены у пяти экземпляров рода *Akidocheilus*. Размеры ринхолитов, инкрустированных полихетами варьируют от 7 до 23 мм. Основное число покрытых эпibiонтами ринхолитов — от 16 до 20 мм.

В большинстве случаев серпулиды покрывают только вентральную сторону ринхолитов, при этом у 48,7% образцов эпibiонты с различной степенью интенсивности развиты на всей вентральной стороне, у 30,7% они наблюдаются только на вентральной стороне капюшона, а у 20,6% ринхолитов серпулиды присутствуют лишь на вентральной стороне рукоятки. У четырёх экземпляров рода *Hadrocheilus* (10% от общего числа) они имеются и на дорсальной поверхности, но при этом серпулиды всегда и обычно очень масштабно развиты



Ринхолиты со следами прикрепления серпулид: *а* — *Akidocheilus* (*Planecapula*) *infirus* Shimansky, экз. 4729/38; *б* — *A. (P.) infirus* Shimansky, экз. 4729/39; *в* — *A. (P.) infirus* Shimansky, экз. 4729/40; *г* — *Hadrocheilus* (*Convexiterbeccus*) *inexpectatus* Komarov, экз. 4729/24; *д* — *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) *kossmati* Till, экз. 441/82; *е* — *H. (H.) kossmati* Till, экз. 1265/488; *ж* — *H. (H.) krimensis* Shimansky, экз. 1265/176; *з* — *H. (H.) mirus* Komarov, экз. 4729/41; *и* — *H. (H.) optivus* Shimansky, экз. 4729/42; *к* — *H. (H.) sp.*, экз. 1265/168. Фото В.Н. Комарова. Длина масштабной линейки 1 см

и на брюшной стороне. Нами не обнаружено ни одного образца, у которого серпулиды встречались бы только на спинной поверхности.

Среди исследованных скелетных остатков многощетинковых червей выявлены крупные и мелкие трубки (рисунок).

Крупные трубки очень редки. Их удалось наблюдать всего у пяти образцов — *Akidocheilus* (*Planecapula*) *infirus* Shimansky (1 экз.), *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) *krimensis* Shimansky (1 экз.), *H. (H.) mirus* Komarov (1 экз.) и *H. (H.) sp.* (2 экз.). Крупные трубки обнаружены только на вентральной стороне ринхолитов, где они располагаются и на рукоятке и на капюшоне. Мелкие трубки были установлены у 87,1% инкрустированных ринхолитов. Они имеются у *A. (P.) infirus* Shimansky, *Hadrocheilus* (*Convexiterbeccus*) *inexpectatus* Komarov, *Hadrocheilus* (*Demon*) *rarus* Shimansky, *Hadrocheilus* (*Hadrocheilus*) *kossmati* Till, *H. (H.) krimensis* Shimansky, *H. (H.) optivus* Shimansky, *H. (H.) mirus* Komarov, а также у *H. (H.) sp.* Мелкие трубки выявлены как на вентральной, так и на дорсальной

стороне ринхолитов. На двух экземплярах *H. (H.) sp.* наблюдались как крупные, так и мелкие трубки. Следует отметить, что мелкие трубки мы рассматриваем в качестве трубок-домиков серпулид с некоторой долей условности, не исключено, что они принадлежат другой группе ископаемых организмов.

Крупные трубки известковые, белого цвета, непрозрачные с матовой поверхностью, одиночные, стелющиеся, цементируются к субстрату по всей длине поверхностью нижней стороны. Длина трубок до 6–7 мм, диаметр до 0,5 мм, очень медленно возрастающий. Трубки, плавно изгибающиеся, иногда образуют довольно длинные прямые участки, без меандров и петель. Повороты трубок плавные, а не коленообразные. На изгибах вздутия трубок не наблюдается. Поперечное сечение трубок круглое. Наружная скульптура, насколько позволяет судить сохранность, отсутствует. Внутренняя поверхность трубок идеально гладкая. Толщина стенки составляет 1/3 от диаметра трубки. На нижней стороне стенка трубки не утончается.



В основном наблюдались частично или полностью взломанные трубки, обычно демонстрирующие внутренние ядра коричневого цвета, сложенные, по всей видимости, гидроксидами железа. Одна частично разрушенная трубка оказалась полой.

Мелкие трубки известковые, белые, непрозрачные с фарфоровидной блестящей поверхностью, одиночные, инкрустирующие ринхолиты и цементирующиеся к ним по всей длине поверхностью нижней стороны. Часто трубки нарастают одна на другую, образуя скопления. Длина трубок до 3–4 мм, обычно меньше. Диаметр трубок 0,2–0,3 мм, по длине трубки не увеличивается. Трубки сильно извилистые на всём протяжении, образуют петли, меандры, резкие повороты на малый угол, ярко выраженные угловатые коленообразные изгибы, иногда чередующиеся с небольшими прямыми участками. На изгибах трубок вздутия не наблюдаются. Поперечное сечение круглое. Наружная и внутренняя поверхности трубок гладкие. Трубки имеют ярко выраженное чётковидное строение. Они состоят из сегментов субовальной формы длиной (в зависимости от размера трубки) от 0,2 до 0,8 мм, сужающихся к одной стороне и расширяющихся к другой. Длина сегментов в пределах одной трубки может варьировать в незначительных пределах. Толщина стенок составляет от 1/4 до 1/6 диаметра трубки. На нижней стороне стенка трубки не утончается. Многие трубки частично взломаны.

Важное значение имеет решение вопроса, прикреплялся ли эпибионт к скелету другого организма при его жизни или уже после гибели. В первом случае обе формы (и прикрепившаяся, и служащая субстратом) являются членами одного биоценоза и могут дать интересный материал для фациальных реконструкций. Во втором случае выводы, основанные на экологическом анализе обеих форм, были бы неточны, поскольку существо, являвшееся субстратом, может не только не входить в состав данного биоценоза, но и иметь более древний возраст. Достаточно чётким указанием на прикрепление при жизни служащего субстратом животного является расположение приросших форм на

периферийных частях раковин, обеспечивающее лучшие условия питания при функционировании организма-субстрата. Свидетельством поселения прикреплённых беспозвоночных на остатках отмерших организмов являются их находки на внутренних участках этих скелетных образований или на тех поверхностях, которые при жизни организма были закрыты мягким телом. Так, прикрепление к рострам белемноидей могло произойти только после их смерти и разложения мягкого тела. Прикрепление к раковинам глубоко зарывавшихся беспозвоночных также возможно только после их смерти.

Что касается изученных ринхолитов, то можно с полным основанием считать, что наличие серпулид на их рукоятке, которая при жизни головоного моллюска располагалась в роговой челюсти, однозначно свидетельствует о поселении эпибионтов на изолированных скелетных остатках погибших цефалопод. Особый интерес представляют формы, а их число значительно и, как уже было отмечено, достигает 30,7%, у которых серпулиды развиты только на вентральной стороне капюшона. Можно предположить, что в этом случае трохофоры — личинки серпулид, которые вели планктонный образ жизни, могли поселяться на внутренней поверхности надклювья живых цефалопод, обладавших капюшоном с вогнутой нижней стороной и служившим только для захвата добычи (род *Akidocheilus*), где и превращались во взрослого червя. Полихеты могли становиться своего рода паразитами, получая доступ не только к традиционной добыче, представленной обычно различными микроскопическими организмами, но и к дополнительным пищевым ресурсам, связанным с жизнедеятельностью цефалопод. Прикрепление личинок полихет к вентральной стороне капюшона рода *Hadrocheilus* представляется маловероятным, так как челюсти у него были приспособлены для раздавливания и, безусловно, могли нанести полихете непоправимый урон.

Авторы выражают глубокую признательность В.Н. Челядинову за предоставленный для исследования материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геккер Р.Ф. Явления прирастания и прикрепления среди верхнедевонской фауны и флоры Главного девонского поля // Очерки по этологии и экологии населения палеозойских морей Русской платформы. М.: Изд-во АН СССР, 1935. С. 159–280 (Тр. Палеозоол. ин-та АН СССР; Т. 4).
2. Геккер Р.Ф. Тафономические и экологические особенности фауны и флоры Главного девонского поля. М.: Наука, 1983. 144 с.
3. Иванов А.В. Уточнение систематического состава морских палеобиот на основе анализа эпибионтии (на примере устричных) // Известия вузов. Геология и разведка. 2003. № 6. С. 43–45.
4. Иванов А.В., Первушов Е.М. Некоторые результаты изучения прикреплённых представителей поздне меловой морской фауны // Учён. зап. геол. фак-та Саратовского гос. ун-та. Нов. сер. Вып. 1. 1997. С. 19–28.
5. Комаров В.Н. Новый представитель подрода *Hadrocheilus* (*Microbeccus*) (ринхолиты) из верхнебарремских отложений Горного Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 1998. № 3. С. 151–153.



6. Комаров В.Н. Определитель ринхолитов Юго-Западного Крыма. Учебное пособие. М.: Диалог-МГУ, 1999. 38 с.
7. Комаров В.Н. Новые данные об *Akidocheilus* (*Planescapula*) *infrigus* Shimansky — типовом виде подрода *Planescapula* (ринхолиты) // Известия вузов. Геология и разведка. 2001. № 5. С. 58–65.
8. Комаров В.Н. Первая находка ринхолитов в средней юре Горного Крыма // Палеонтологический журнал. 2002. № 4. С. 21–22.
9. Комаров В.Н. Первая находка гонатохейлюсов (ринхолиты) на территории Карпат // Известия вузов. Геология и разведка. 2004. № 2. С. 82.
10. Комаров В.Н. Атлас ринхолитов Горного Крыма. Москва: ТИИЦ, 2008. 120 с.
11. Коробков И.А. Введение в изучение ископаемых моллюсков. Ленинград. Изд-во ЛГУ, 1950. 283 с.
12. Марковский Б.П. Методы биофациального анализа. М.: Недра, 1966. 271 с.
13. Сельцер В.Б., Иванов А.В. Результаты анализа прикрепления келловейских *Gryphaea* Поволжья // Вопросы палеонтологии и стратиграфии. 1998. Нов. сер. Вып. 1. С. 35–40.
14. Хузина И.Р., Комаров В.Н. Ринхолиты и проблема широкого и узкого понимания таксонов // Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 1. С. 12–17.
15. Шиманский В.Н. К вопросу о систематике ринхолитов // Доклады АН СССР. 1947. Т. 58. № 7. С. 1475–1478.
16. Шиманский В.Н. О систематическом положении ринхолитов // Труды Палеонтол. ин-та АН СССР. 1949. Т. 20. С. 199–208.
17. Шиманский В.Н. Историческая смена ринхолитов // Ископаемые головоногие моллюски. Москва: Наука, 1985. С. 155–167.
18. Шиманский В.Н., Алексеев А.С. Ринхолиты из датского яруса Крыма // Развитие и смена органического мира на рубеже мезозоя и кайнозоя. М.: Наука, 1975. С. 87–90.
19. Шиманский В.Н., Нероденко В.М. Новый подвид ринхолитов *Microbeccus* из раннего мела // Палеонтологический журнал. 1983. № 4. С. 36–41.

REFERENCES

1. Gekker R.F. Phenomena of accretion and attachment among the upper Devonian fauna and flora of the Main Devonian field. *Essays on ethology and ecology of the Paleozoic seas population of the Russian platform*. Proceedings of the Paleozoological institute, 1935, vol. 4, pp. 159–280 (in Russian).
2. Gekker R.F. *Tafonomicheskie i ekologicheskie osobennosti fauni i flori Glavnogo devonskogo polya*. [Taphonomic and ecological features of the fauna and flora of the Main Devonian field]. Moscow: Science (Publ.), 1983. 144 p. (in Russian).
3. Ivanov A.V. Clarify the systematic composition of the marine paleobiots based on the analysis of epibiontia (for example oyster). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2003, no. 6, pp. 43–45 (In Russian).
4. Ivanov A.V., Pervushov E.M. Some results of the study of attached representatives of late Cretaceous marine fauna. *Scientific notes of the faculty of Geology of Saratov state University*, 1997, new series, issue 1, pp. 19–28 (In Russian).
5. Komarov V.N. The new representative of the subgenus *Hadrocheilus* (*Microbeccus*) (rhyncholites) from the upper Barremian deposits of the Mountain Crimea. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 1998, no. 3, pp. 151–153 (in Russian).
6. Komarov V.N. *Opredelitel rinholitov Yugo-Zapadnogo Krima. Uchebnoe posobie*. [The determinant of rhyncholites of South-Western Crimea. Textbook]. Moscow: Dialogue–MSU (Publ.), 1999. 38 p. (in Russian).
7. Komarov V.N. The new representative of the subgenus *Hadrocheilus* (*Microbeccus*) (rhyncholites) from the upper Barremian deposits of the Mountain Crimea. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2001, no. 5, pp. 58–65 (in Russian).
8. Komarov V.N. The first finding of rhyncholites in the middle Jurassic of the Mountain Crimea. *Paleontologicheskij zhurnal*. [Paleontological journal], 2002, no. 4, pp. 21–22 (in Russian).
9. Komarov V.N. The new representative of the subgenus *Hadrocheilus* (*Microbeccus*) (rhyncholites) from the upper Barremian deposits of the Mountain Crimea. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2004, no. 2, pp. 82 (in Russian).
10. Komarov V.N. *Atlas rinholitov Gornogo Krima*. [Atlas of rhyncholites of Mountain Crimea]. Moscow: CIPC (Publ.), 2008. 120 p. (in Russian).
11. Korobkov I.A. *Vvedenie v izuchenie iskopaemih mollyuskov*. [Introduction to the study of fossil mollusks]. Leningrad: Publishing house of LGU, 1950. 283 p. (in Russian).
12. Markovsky B.P. *Metodi biofacialnogo analiza*. [Methods of biofacial analysis]. Moscow: Nedra (Publ.), 1966. 271 p. (in Russian).
13. Celcer V.B., Ivanov A.V. The results of the analysis of the attachment of the Callovian *Gryphaea* of the Volga region. *Questions of paleontology and stratigraphy*, 1998, new series, issue 1, pp. 35–40 (in Russian).
14. Khuzina R.I., Komarov V.N. Rhyncholites and the problem of broad and narrow understanding of the taxa. Komarov V.N. The new representative of the subgenus *Hadrocheilus* (*Microbeccus*) (rhyncholites) from the upper Barremian deposits of the Mountain Crimea. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2018, no. 1, pp. 12–17 (in Russian).
15. Shimansky V.N. To the question of taxonomy of rhyncholites. *Doklady AN SSSR (Reports of the USSR Academy of Sciences)*, 1947, vol. 58, no. 7, pp. 1475–1478. (in Russian).
16. Shimansky V.N. On systematic position of rhyncholites. *Trudy Paleontologicheskogo instituta AN SSSR (Proc. of Paleontological Institute of USSR Academy of sciences)*, 1949, vol. 20, pp. 199–208. (in Russian).
17. Shimansky V.N. Historical change of rhyncholites. *Iskopaemie golovonogie mollyuski*. [Fossil cephalopods]. Moscow: Science (Publ.), 1985, pp. 155–167 (in Russian).
18. Shimansky V.N., Alekseev A.S. Rhyncholites from Danish stage of Crimea. *Razvitie i smena organicheskogo mira na rubezhe mezozoya i kajnozoya*. [Development and change of the organic world at the turn of the Mesozoic and Cenozoic]. Moscow: Science (Publ.), 1975, pp. 87–90 (In Russian).
19. Shimansky V.N., Nerodenko V.M. A new subgenus of rhyncholites *Microbeccus* from the early Cretaceous. *Paleontologicheskij zhurnal (Paleontological journal)*, 1983, no. 4, pp. 36–41 (in Russian).



УДК 551.763.3(470.44/.47)

ТУРОНСКИЕ—КОНЬЯКСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ УЛЬЯНОВСКО-САРАТОВСКОГО ПРОГИБА*

Е.М. ПЕРВУШОВ, В.Б. СЕЛЬЦЕР, Е.А. КАЛЯКИН, Е.И. ИЛЬИНСКИЙ, И.П. РЯБОВ

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
83 Астраханская ул., г. Саратов 410012, Россия
e-mail: pervushovem@mail.ru; seltservb@mail.ru; eakalyakin@mail.ru; e-mail: ilinskii1995@mail.ru;
ryaboff.il@yandex.ru*

Комплексное изучение серии полных разрезов туронского и коньякского ярусов позволило определить стратиграфическую полноту и уточнить фаунистическую характеристику описываемых отложений. На юге и юго-западе Ульяновско-Саратовского прогиба установлена наибольшая мощность рассматриваемого интервала, представленного карбонатными и карбонатно-терригенными породами. Севернее, в зоне Саратовских дислокаций, турон-коньякские образования имеют терригенный и терригенно-карбонатный состав. Эти отложения повсеместно характеризуются монотонным строением, что усложняет проведение границ ярусов и подъярусов. Особенности стратиграфического распространения комплекса бентосных фораминифер, а также цефалопод, иноцерамов, иглокожих, брахиопод и кремниевых губок позволили выделить детальные биостратиграфические подразделения на уровне биозон, прослеженных в пределах рассматриваемых структурных подразделений. Предпринята попытка реконструкции условий морской среды.

Ключевые слова: турон; коньяк; Ульяновско-Саратовский прогиб; аммониты; белемниты; иноцерамы; бентосные фораминиферы; иглокожие; брахиоподы; кремниевые губки.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-10-27

THE TURONIAN—CONIACIAN DEPOSITS OF THE SOUTH-WEST OF THE ULYANOVSK-SARATOV TROUGH

E.M. PERVUSHOV, V.B. SELTSE, E.A. KALYAKIN, E.I. ILYINSKI, I.P. RYABOV

*Saratov State University
83, Astrakhanskaya str.; Saratov 410012, Russia
e-mail: pervushovem@mail.ru; seltservb@mail.ru; eakalyakin@mail.ru;
linskii1995@mail.ru; ryaboff.il@yandex.ru*

Integrated study of a series of the Turonian and Coniacian complete geological records has revealed the stratigraphic completeness and specified the faunal contents of the deposits. The south and the southwest of the Ulyanovsk-Saratov trough have been shown to comprise the thickest beds of the studied interval represented by carbonate and carbonate-terrigenous rocks. Northwards, in the zone of the Saratov dislocations, the Turonian – Coniacian bodies are peculiar for terrigenous and terrigenous-carbonate compositions. The beds are ubiquitously monotonous, which complicates identifications at the stage and the substage levels. Distributions of the benthic foraminifer assemblages and the data on the finds of cephalopods, inoceramus, echinoderms, brachiopods and siliceous sponges have allowed to distinguish detailed biostratigraphic units at the level of biozones traced within the examined structural units. An attempt has been made to reconstruct the conditions in the marine environment.

Keywords: Turonian; Coniacian; Ulyanovsk-Saratov trough; ammonites; belemnites; inoceramus; benthic foraminifera; echinoderms; brachiopods; siliceous sponges.





Породы турона–коньяка широко распространены по юго-западной [34], южной и юго-восточной периферии Восточно-Европейской платформы (ВЕП), отражая, таким образом, одно из проявлений происходившей трансгрессии [35]. Значительное число статей и обобщающих публикаций посвящено разным аспектам изучения верхнемеловых отложений Днепровско-Донецкой впадины (Украинской синеклизы) [3, 8, 33], унаследованного Рязано-Саратовского и наложенного Ульяновско-Саратовского прогибов [11, 20, 38], Прикаспийской впадины и её периферии [6, 16, 17].

В пределах правобережья Нижнего и Среднего Поволжья неоднократно предпринимались попытки детального описания отложений относимых к туронскому и коньякскому ярусам. Основные материалы, положенные в основу расчленения этого интервала, были получены в 50–60-е гг. прошлого столетия в ходе проведения геолого-съёмочных работ на территории сочленения северо-восточной части Украинской синеклизы и юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба [11, 20, 38].

Особенность изучаемых разрезов заключается в их монотонности (мел-мергельный, мергель-песчаный и песчано-мергельный типы разрезов), при отсутствии или недостаточной чёткости литологических реперов, которые можно было бы использовать для однозначного выделения и прослеживания местных стратиграфических подразделений. Несмотря на длительную историю изучения, монотонное строение разрезов затрудняет выделение в турон-коньякском интервале более дробных стратиграфических подразделений. Поэтому данный стратиграфический интервал зачастую определялся как «турон-коньякская толща» («иноцерамовый мел», по А.П. Павлову [35]), которая снизу ограничивалась песками и алевроитами сеномана и перекрывалась кремнисто-карбонатными образованиями сантона. Причем априори подразумевалось, что мощность отложений турона заметно превышает мощность таковых коньякского яруса. С одной стороны, это отражало представления о едином этапе геологического развития территории [12, 21, 36], а с другой — недостаточную детальность в изучении известных разрезов, а также отсутствие комплексных данных по распространению в этих отложениях микро- и макрофауны. Кроме того, изучение некоторых важных групп распространённых в разрезах Поволжья (брахиоподы, иноцерамы, иглокожие), в настоящее время только начинается.

Таким образом, на данный момент на описываемой территории отложения турон-коньякского возраста остаются наименее изученными. В последней трети 20 в. одними из актуальных на-

правлений в стратиграфии верхнего мела ВЕП было определение положения границ сантона/кампана и кампана/маастрихта. Решению вопроса о границе сантона/кампана и стратиграфического положения «птериевых» («авикуловых», «окситомовых») слоёв было посвящено несколько полных симпозиумов, по итогам первого из них издан сборник статей [13]. При рассмотрении дискуссионных моментов стратиграфии верхнего мела привлекались и материалы изучения опорных разрезов Поволжья как северо-восточной, так и юго-западной частей Ульяновско-Саратовского прогиба. Помимо многочисленных публикаций, аспектам лито- и биостратиграфии сантона, кампана и маастрихта рассматриваемого региона посвящены две диссертационные работы [7, 19]. Терригенные породы сеномана, практически не содержащие микрофауны, детально изучены по серии разрезов в северной части Доно-Медведицкого вала, где был выделен стратотип меловатской свиты [21] и в пределах Саратовских дислокаций. К сожалению, кроме статей, в которых рассматриваются частные вопросы стратиграфии сеномана [14, 15, 27], и специализированных изданий [26], обобщающей публикации по сеноману Поволжья нет.

В последние годы на территории Саратовского и Волгоградского правобережья предпринято комплексное изучение относительно полных разрезов туронского и коньякского ярусов. В этих исследованиях принимали участие палеонтологи, литологи, а также специалисты по петро- и палеомагнетизму. К настоящему времени опубликованы результаты исследования ряда опорных разрезов (Вишнёвое, Каменный Брод, Нижняя Банновка, Озерки) [22, 23, 30, 31, 37, 41, 44], тогда как данные по другим разрезам, таким как Пудовкино и Багаевка, которые ранее считались опорными при рассмотрении верхнемеловых отложений региона, приводятся в настоящей работе. Полученные данные о строении турон-коньякских отложений и особенностях распространения микро- и макрофауны дополнены материалами предварительного изучения разрезов, расположенных в пределах Доно-Медведицкого вала и Саратовских дислокаций (Жирновск, Меловатка, Мирошники, Алешники, Сплавнуха, Карамышка, Александровка, Мизино-Лапшиновка). В данной работе представлены материалы, полученные при изучении разрезов, расположенных в юго-восточной части Рязано-Саратовского прогиба и юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба (рис. 1). Изученная территория относится к правобережной части Волгоградской и Саратовской областей. Последовательное, детальное описание и опробование серии разрезов позволили выделить более дробные

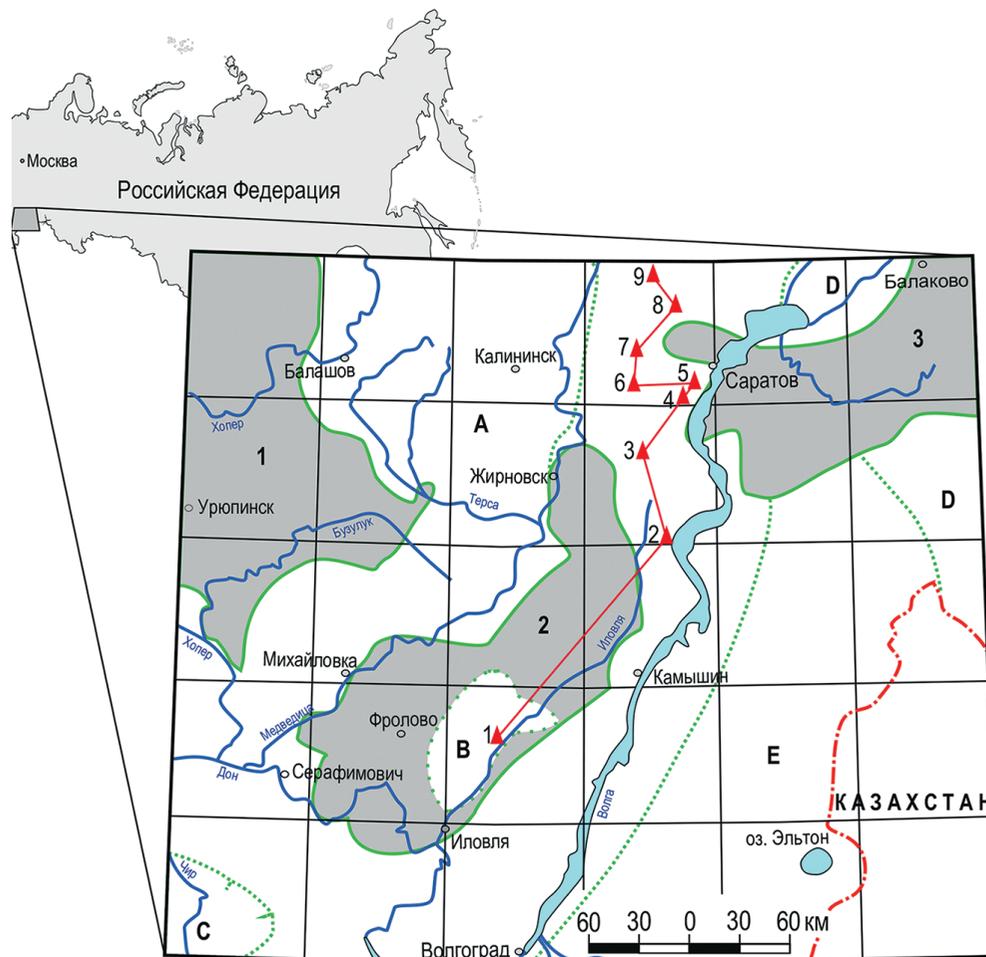


Рис. 1. Схема структурно-фациального районирования (поздний мел) территории Нижнего и Среднего Поволжья: I – территории современного отсутствия верхнемеловых отложений: 1 – Воронежская антеклиза (восточный склон), 2 – Доно-Медведицкие дислокации, 3 – Волго-Уральская антеклиза, Балаковский свод и Степновский вал; II – границы структурно-фациальных зон бассейна седиментации: А – Хоперская моноклираль–Терсинская впадина, В – Ульяновско-Саратовский прогиб (юго-западная центрираль) и Приволжская моноклираль, С – Украинская синеклиза (северо-восточное крыло), D – Ульяновско-Саратовский прогиб (северо-восточная часть) и Прикаспийская впадина (северная бортовая часть), E – Прикаспийская впадина (западная бортовая часть); III – линия сопоставления опорных геологических разрезов туронских – коньякских отложений: 1 – Каменный Брод, 2 – Нижняя Банновка, 3 – Сплавнуха-2, 4 – Пудовкино, 5 – Багаевка, 6 – Озерки-2, 7 – Карамышка, 8 – Мизино-Лапшиновка-2, 9 – Вишнёво

стратоны на уровне подъярусов и биозон/подзон (рис. 2–5).

Цели и задачи исследований авторов статьи сводились к следующему:

1. Комплексное изучение разрезов и идентификация положения границ туронского и коньякского ярусов в литологически однородных толщах карбонатных пород по результатам анализа распространения макро- и микрофауны.

2. Идентификация выделенных стратонов на уровне подъяруса, зон и подзон.

3. Выявление закономерностей в изменении мощности установленных стратонов в пределах рассматриваемой территории.

4. Анализ тенденций развития бассейна седиментации и пространственного расселения микро- и макрофауны в туронское—коньякское время.

Материал и методы

Изучение разрезов проводилось поинтервально и послойно. Пробы для изучения микрофауны отбирались через 0,5 м. Уровни находок макрофоссилий фиксировались непрерывно по всему разрезу (рис. 2–5). Отдельно отмечались интервалы повышенной концентрации детритового материала, откуда отбирались объёмные пробы (15–18 кг) для выделения мелкоразмерных беспозвоночных.

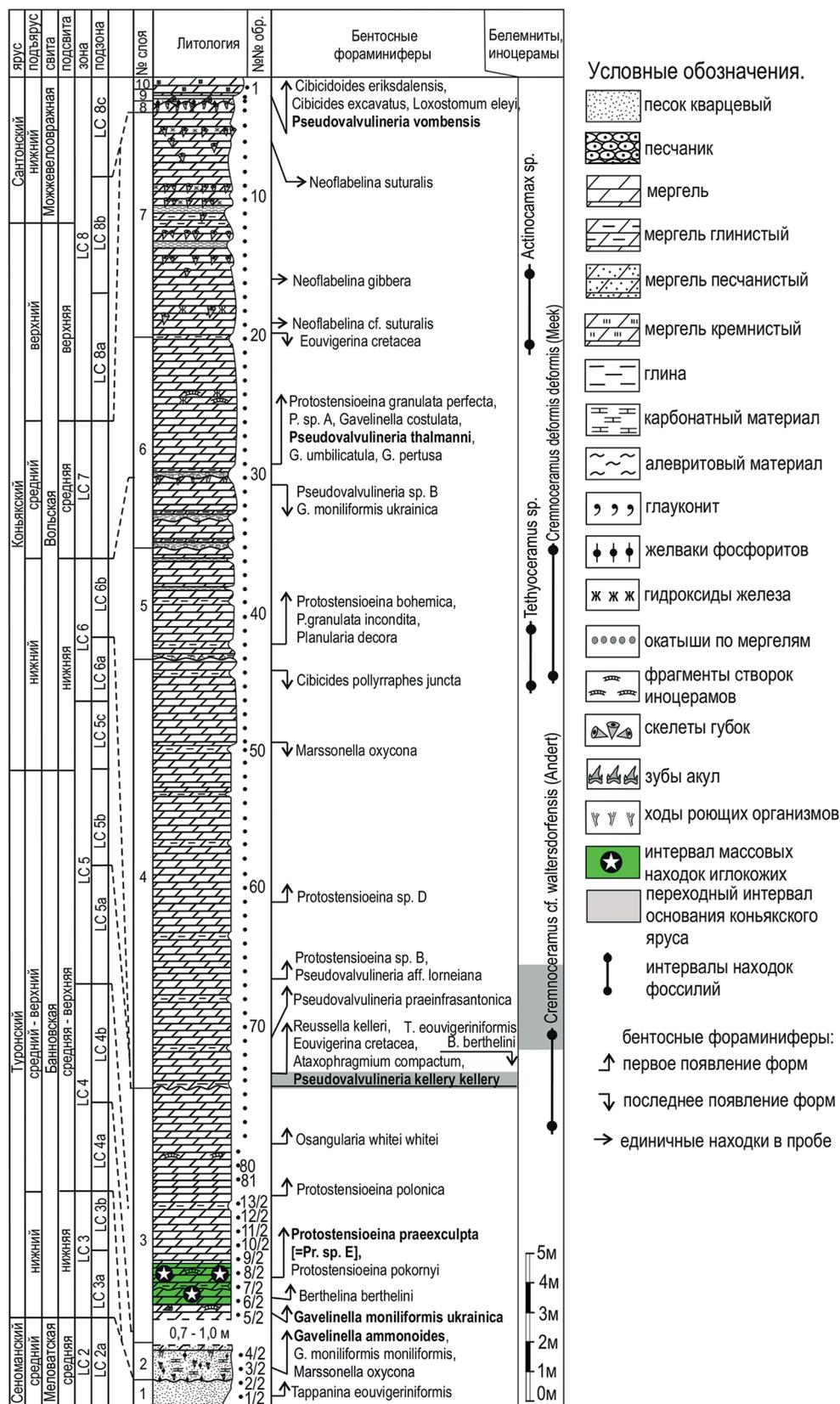


Рис. 2. Положение пограничного интервала основания коньякского яруса по данным распространения иноцерамов и бентосных фораминифер в разрезе Каменный Брод. Жирным шрифтом обозначены зональные формы бентосных фораминифер

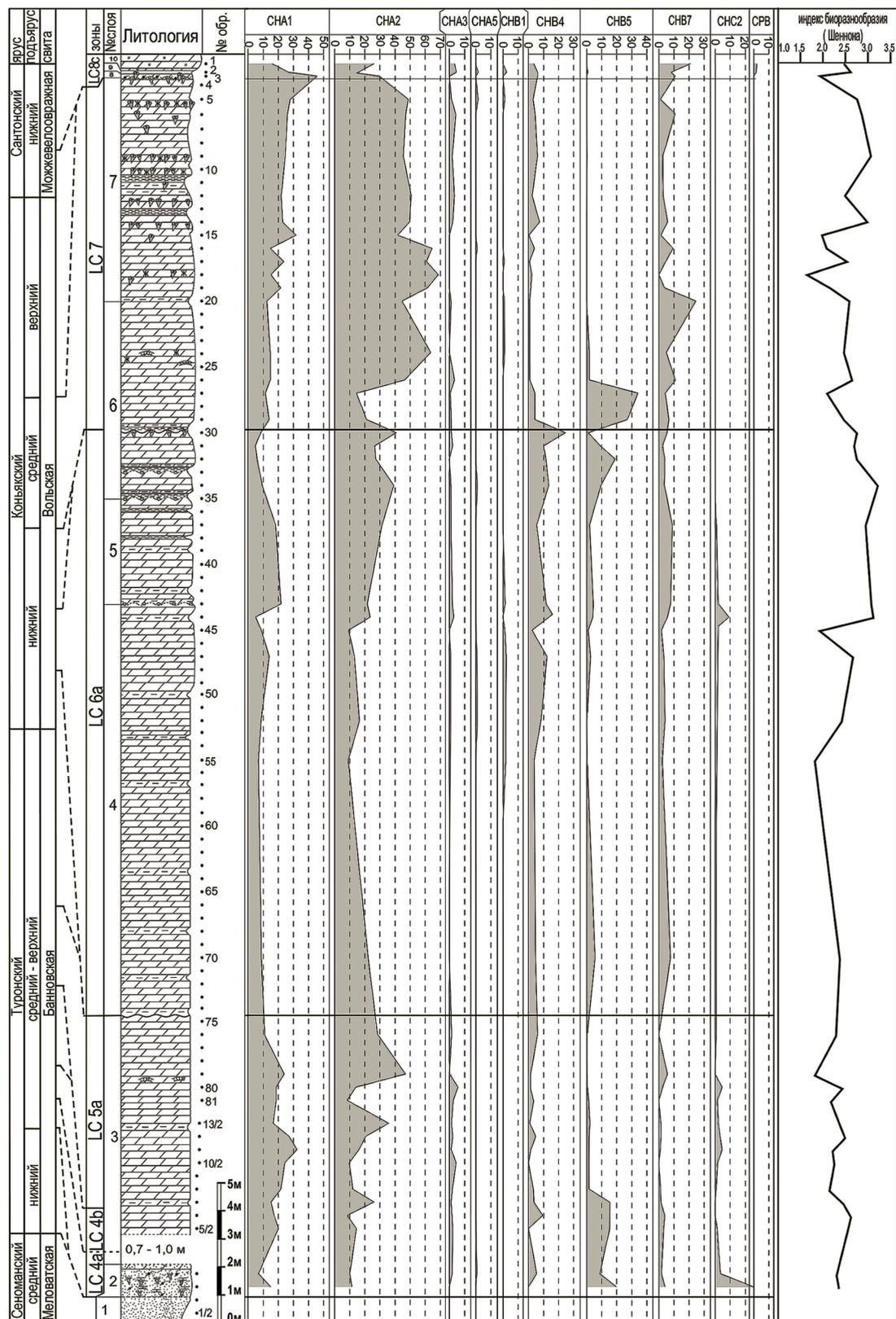


Рис. 3. Распределение морфологических группировок в составе сообщества бентосных фораминифер (разрез Каменный Брод): CHA1 – *Globorotalites*, *Gyroidinoides*, CHA2 – *Berthelina*, *Cibicoides*, *Gavelinella*, *Stensioeina*, *Valvulineria*, CHA3 – *Lenticulina*, *Robulus*, CHA5 – *Neoflabelina*, *Fronficularia*, *Planularia*, CHB1 – *Nodosaria*, CHB4 – *Praebulimina*, *Reussella*, CHB5 – *Loxostomum*, *Tappanina*, *Eouvigerina*, CHB7 – *Osangularia*, *Eponides*, CHC2 – *Cibicides*, CPB – *Spiroloculina*



Выбранный блок карбонатной породы размягчался уксусной кислотой (94%) с добавлением обезвоженного сульфата меди. Кроме того, некоторые мелкозернистые формы были выделены также из порошков микрофаунистических проб. Изучение порошков (фракция >0,4 мм), полученных при мацерации позволило в ряде разрезов установить присутствие криноидей, астероидей и мелкозернистых брахиопод. Подготовка проб на микрофаунистический анализ проводилась сплавлением с 10-водным тиосульфатом натрия, а отдельные плотные разности прошли обработку в концентрированной уксусной кислоте (94%). С целью качественной очистки микроскульптуры раковин порошки обрабатывались в ультразвуковой ванне. Фораминиферы изучались из фракций >0,1 мм.

На основе публикаций Э. Коцукоса [43] и И. Сетоямы [45] в работе использовано выделение среди бентосных фораминифер (БФ) секреторного типа (аглоutinированные формы не учитывались, так как их значительно меньше) морфогрупп (рис. 3): по типу структуры стенки раковины и морфологическим особенностям строения раковины (характер навивания, соотношение высоты, диаметров раковины).

По процентному соотношению представителей тех или иных морфотипов можно реконструировать условия обитания данных сообществ бентосных фораминифер. По гистограммам (рис. 3) можно высказать суждение, что на протяжении туронского-коньякского времени преобладали представители эпифауны. Отметим интервалы, где возрастает роль морфотипов БФ, которые, как предполагается, вели инфаунный образ жизни: подошва слоя 3, 5- и 6-й слои. Индекс биоразнообразия Шеннона (рис. 3) указывает на преимущественно равномерно распределение видов в сообществах с отдельными минимумами в интервалах, характеризующихся преобладанием представителей того или иного морфотипа (СНА2 на уровне 16-19, 77-79 образцов, СНА1 на уровне 12/2-8/2 и 2-3 образцов, СНВ4 на уровне 27-29 образцов).

Результаты

Анализ распределения микро- и макрофауны в изученных разрезах карбонатных пород турона—коньяка показал, что литологически выраженные границы, прослой желваковых фосфоритов или окатышей по мергелям, подтверждаются палеонтологически на уровне яруса лишь в резко сокращенных по мощности интервалах (Пудовкино и Багаевка) (рис. 5). В каждом разрезе с относительно большой мощностью карбонатных пород и со стратиграфически более полным интервалом,

прослеживаются особенности распространения представителей изученных групп беспозвоночных (Каменный Брод, Нижняя Банновка) (рис. 2, 4).

«Губковый» горизонт, залегающий в основании кремнисто-карбонатных пород нижнего сантона практически повсеместно, рассматривается как диахронное образование. Поселения губок формировались в разных структурно-фациальных зонах либо на протяжении всего раннего сантона, либо лишь в его начале. Последующие события, неоднократное переотложение скелетов губок, их разрушение и перемещение по значительной площади в значительной степени маскировали особенности исходного строения и видового состава губковых сообществ. Но наличие скелетов губок любой степени сохранности в основании сантонских пород позволило рассматривать этот базальный комплекс как маркирующий нижнесантонский «губковый» горизонт еще с начала 20 в. [1, 2, 25].

Мощность, структура и таксономический состав этого ориктокомплекса существенно различаются даже в пределах юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба [25, 30, 31, 44, 48]. В южной части рассматриваемой территории «губковый» горизонт, мощностью до 0,1 м, представляет собой многократно переотложенные, сильно фосфатизированные и со следами биоэрозии, скелеты кремниевых губок, преимущественно гексактиネルлид. По периферии Саратовского дислокаций и на участках Хоперской моноклинали, где породы сантона залегают на песках верхнего сеномана (рис. 6, 7), известны автохтонные и субавтохтонные захоронения губок мощностью до 1 м.

Значительный эрозионный срез подстилающих отложений в предсантонское время обусловил хорошую литологическую узнаваемость, за исключением разреза Озерки-2, подошвы нижнесантонского «губкового» горизонта. Это конденсировано-концентрированное образование во всех разрезах палеонтологически обоснованно, что позволило выбрать его в качестве реперного уровня при составлении палеогеологического профиля (рис. 7).

Регионально выдержанный «губковый» горизонт нижнего сантона фиксирует резкую смену в составе макрофауны, особенно среди иноцерамов и белемнитов. Несмотря на редкую встречаемость беспозвоночных в монотонных интервалах карбонатных пород турона—коньяка, в ряде разрезов прослежена смена средне-верхнетуронских форм иноцерам на коньякские. В разрезе Каменный Брод [44] выявлен интервал, содержащий створки *Cremnoceramus cf. waltersdorfensis* (Andert) (рис. 2). На уровне подвидов, при смене *Cr. waltersdorfensis* на *Cr. waltersdorfensis hannovrensis*, проводится граница туронского и коньякского

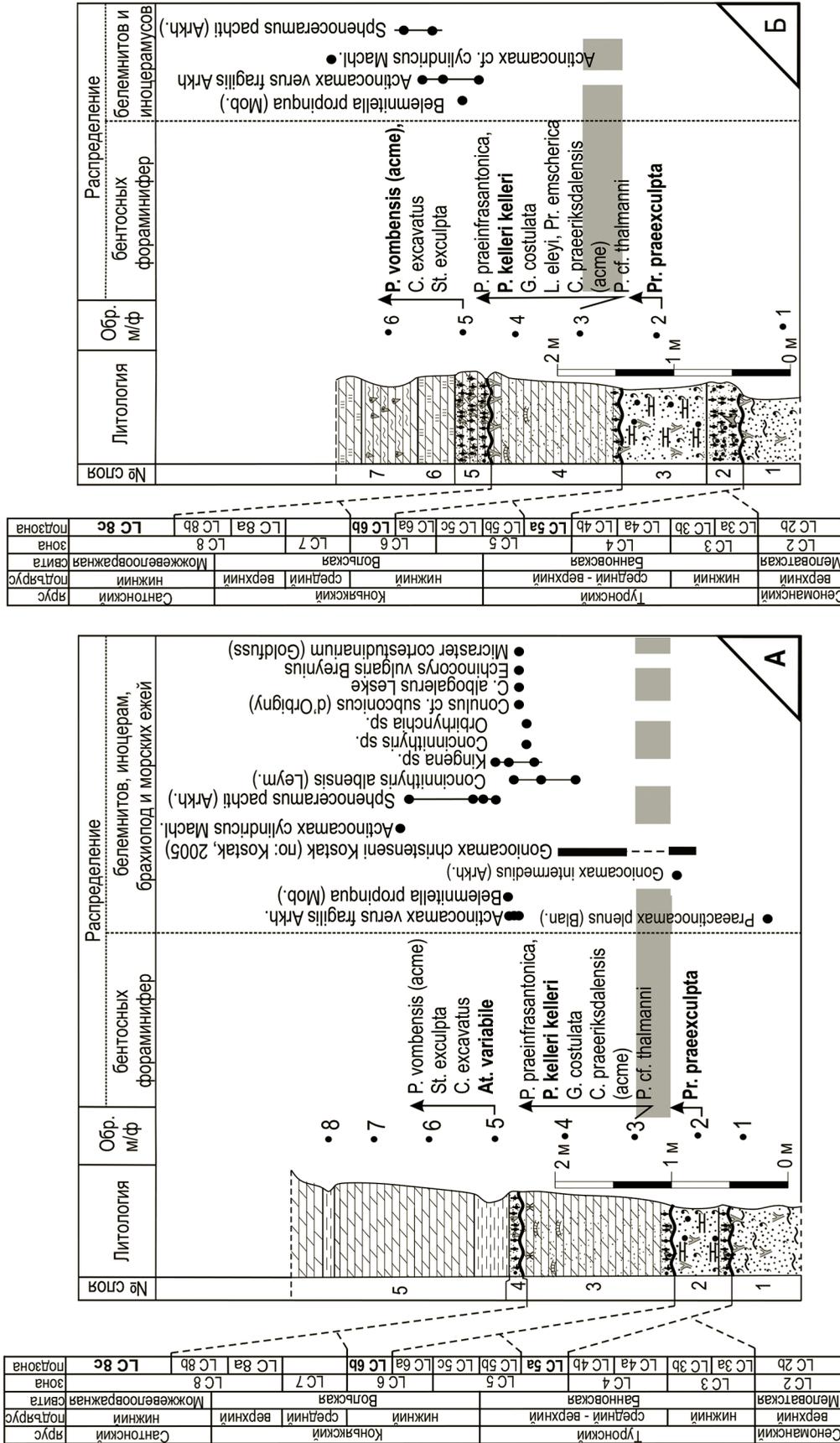


Рис. 5. Положение пограничного интервала основания коньякского яруса по данным распространения иноцерамов, белемнитов, брахиопод и бентосных фораминифер в разрезах Пудовкино (А) и Багаевка (Б); жирным шрифтом обозначены зональные формы бентосных фораминифер, усл. обознач. см. рис.2



ярусов [46, 47]. Выше по разрезу встречены типично раннеконьякские *Tethyoceramus sp.* и *Cr. deformis deformis* (Meek), причём последний вид принимается видом-индексом одноименной зоны нижнего коньяка. Находки фрагментированных ростров белемнитов *Actinocamax sp.* не противоречат выводу о коньякском возрасте вмещающих отложений в верхней части разреза Каменный Брод, поскольку их облик близок к коньякским *A. verus subfragilis* Naidin. Другим фаунистическим элементом, характеризующим средне-верхнетуронскую часть этого разреза, является выявленный уровень скопления остатков иглокожих — члеников и фрагментов стеблей морских лилий *Bourgueticrinus sp.*, *Nielsenicrinus carinatus* (Roemer), пластинок неопределимых *Goniasteridae* Forbes и фрагментов панцирей *Echinocorys sp.* [44].

В разрезе Нижняя Банновка (рис. 4) определены средне- (*Inoceramus cf. cuvieri* Sowerby) и позднетуронские (*In. lamarcki lamarcki* Parkinson) виды ламаркоидных иноцерам. Интервалы соответствующие нижней части верхнего турона отличаются многочисленностью створок раковин [39, 40]. Аналогичная картина, но на более высоких уровнях наблюдается в разрезе Озерки-2. В этих же разрезах найдены типичные позднетуронские аммоноидеи *Lewesiceras mantelli* Wright & Wright, *Scaphites geinitzii* d'Orbigny и *Hyphantoceras reussianum* (d'Orbigny) [30, 31, 39]. Среди белемнитов определены как типично среднепозднетуронские *Gonicamax intermedius* (Arkhangelsky), так и коньякские виды *G. lundgreni* (Stolley). В базальной, песчанистой части карбонатных пород (Нижняя Банновка), среди скоплений фосфоритового гравия, встречены нижнетуронские белемниты *Praeactinocamax crassus* (Naidin), *P. triangulus* (Naidin), причём это контрастно выглядит на фоне полного отсутствия каких бы то ни было других нижнетуронских форм в этом конденсированном слое. Разрез Сплавнуха, по результатам предварительных полевых опробований, макрофаунистически слабо охарактеризован.

Иной облик фауны присущ турон-коньякским песчано-мергельным отложениям южной оконечности Елшано-Сергиевского вала (Пудовкино и Багаевка), Татищевского вала (Карамышка), северо-западной части Хлебновского (Мизино-Лапшиновка-2) и Оркинского поднятий (Вишнёвое) (рис. 5, 6, 7). Здесь валидными для определения оказались ростры белемнитов и частично представители спонгиокомплекса. Из разреза Пудовкино определены *G. intermedius* Arkhangelsky (верхний турон), *Actinocamax verus fragilis* Arkhangelsky, *Belemnitella propinqua* Moberg (нижний сантон) (рис. 5), а также малоизвестный новый вид *G.*

christenseni Ко št'ák, который считается, по мнению автора, впервые описавшего его, транзитным позднетурон-коньякским [42]. Выше, над «губковым» горизонтом, в слоях с рассеянными створками *Sphenoceramus pachty* (Arkhangelsky) определены сантонские белемниты *A. cylidricus* Makhlin.

Из «губкового» горизонта разреза Пудовкино известны находки эхиноидей, представленные фрагментированными и реже целыми панцирями: *Conulus cf. subconicus* (d'Orbigny) (турон—сантон), *C. albogalerus* Leske (турон-?кампан) и *Echinocorys vulgaris* Breynius (сантон—кампан). Отдельного внимания заслуживает находка целого панциря *Micraster cortestudinarium* (Goldfuss) — формы не характерной для сантонских отложений. Традиционно для сантонских отложений. Традиционно считается, что данный вид является зональным для верхнего турона—нижнего коньяка Западной Европы, Донбасса Северного Кавказа, Мангышлака. Одним из возможных объяснений столь высокой стратиграфической позиции в данном разрезе следует считать его переотложение из подстилающих образований коньяка в раннесантонское время.

В мергелях турона—коньяка и нижнего сантона разреза Пудовкино целые и фрагментированные раковины брахиопод редки. Чаше встречаются фосфатизированные ядра брахиопод, находки которых приурочены к «губковому горизонту» нижнего сантона (рис. 5). Подобная сохранность фоссилий затрудняет их идентификацию на уровне рода и вида. Здесь установлены представители трёх семейств брахиопод — Gibbithyrididae (род *Concinnithyris*), Kingenidae (род *Kingena*) и Basiliolidae (род *Orbirhynchia*). В количественном отношении преобладают раковины *Concinnithyris*, которые отличаются и лучшей сохранностью. Вид *Concinnithyris albensis* (Leymerie), в комплексе с представителями *Kingena* и *Orbirhynchia* характеризуют туронских отложений Европы, Мангышлака, Устюрта и Копетдага.

Особенностью всех изученных разрезов является уровень появления иноцерама *Sphenoceramus pachty* (Arkhangelsky), повсеместно встречаемого выше «губкового» горизонта. С появлением этого вида вмещающие отложения датируются как сантонские. В связи с утверждением вида-индекса *Cladoceramus undulatoapplicatus* (Roemer), первое появление которого принимается за начало сантона, в Поволжье возникают трудности в идентификации нижней границы этого яруса. На описываемой территории пограничные коньяк-сантонские отложения претерпели размыв, выраженный в разрезах конденсированным слоем с фосфатизированными скелетами губок и раннесантонскими белемнителлами. В этой связи следует принять,



что на территории Поволжья слои с *Sphenoceras pachtu*, лежащие выше губкового горизонта, имеют раннесантонский возраст.

В рассматриваемых разрезах интервалы верхней части верхнетуронских и нижней части коньякских карбонатных пород отличаются крайне редкой встречаемостью фоссилий («немой мел» А.Д. Архангельского [1]). В ряде случаев это обстоятельство не позволяет однозначно определить положение границы туронского и коньякского ярусов. По результатам изучения вертикального распространения представителей цефалопод, иноцерам и брахиопод указаны пограничные интервалы основания коньякского яруса (рис. 2, 4, 5).

Результаты рассмотрения распределения комплексов БФ и вертикального распространения зональных форм БФ позволяют более уверенно судить о позиции турон-коньякской границы. В относительно непрерывных пограничных интервалах туронских и коньякских пород изученных разрезов установлены схожие по видовому составу комплексы. Наиболее значимым биособытием является первое появление вида *Pseudovalvulineria kelleri kelleri* (Mjatluk), который в качестве зонального используется в ряде схем расчленения верхнемеловых отложений как вид-индекс одноименной биозоны нижнего коньяка [4, 10, 32].

В составе комплексов БФ на рубеже турона—коньяка известно несколько заметных биособытий, которые прослеживаются и в изученных разрезах, где граница между породами этих ярусов литологически не выражена. Это и появление *Pseudovalvulineria kelleri kelleri* (Mjatluk), и сопутствующих ей *P. praeinfrasantonica* (Mjatluk), *Protostenioeina granulata* (d'Orbigny) [= *Stensioeina emscherica* Baryschnikova], которые определены как виды-индексы в схемах верхнего мела Мангышлака [9] и Днепрово-Донецкой впадины [18]. Кроме того, в переходном интервале от турона к коньяку отмечено значительное количество *Reussella kelleri* Vasilenko, что характерно для всей территории Европы, от Северной Франции до Западного Казахстана [4].

Помимо комплексов туронского и раннеконьякского возрастов в разрезе Каменный Брод [44] установлены сообщества БФ, характерные для среднего коньяка, в основании которого происходит появление вида-индекса *P. thalmani* (Brotzen).

Комплекс БФ, установленный в кремнисто-карбонатных породах, залегающих над «губковым» горизонтом, в изученных разрезах характеризуется схожим составом. Отметим, что в интервалах пород над «губковым» горизонтом в количественном отношении представительны комплексы БФ, приуроченные к глинистым прослоям, в то время

как образцы, взятые из кремнистых мергелей, содержат малое число фораминифер. Повсеместная встречаемость вида *P. vombensis* Brotzen и в целом схожий видовой состав сообществ БФ в этих отложениях позволяют предполагать их одновозрастность. Появление типичных нижнесантонских видов *Ataxoorbygnyina variabile* (d'Orbigny), *Neoflabelina gibbera* (Wedekind), *N. suturalis suturalis* (Cushman), а также наличие признаков резкой смены палеоэкологических условий в данном интервале, позволяет предположить раннесантонский возраст вмещающих пород.

Обсуждение результатов

Анализ результатов определений макро- и микрофауны и особенностей её вертикального распространения позволил установить, что нижняя часть большинства разрезов представлена в основном отложениями среднего и преимущественно верхнего турона. Нижний турон либо отсутствует, либо представлен невыразительными, мало мощными интервалами терригенно-карбонатного облика. В туронских мергелях, в серии разрезов юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба, выделен уровень концентрированного захоронения иглокожих и мелкоразмерных брахиопод. В переходном интервале среднего—верхнего турона (рис. 2) установлены представители четырёх классов позднемеловых Echinodermata [44]. Стратиграфическое положение уровня распространения иглокожих подтверждается тем, что рассеянные элементы их скелетов приурочены к отложениям фораминиферовых подзон LC4b—LC5a, которые рассматриваются В.Н. Беньямовским [4] как занимающие промежуточное положение — верхняя часть среднего—верхний турон.

Коньякский ярус в изученных разрезах представлен более полно, чем это считалось ранее. В основном присутствует нижний и средний подъярусы, которые состоят из мел-мергельных и, реже, терригенно-карбонатных пород. В разрезах южной части изучаемой территории большую мощность имеет нижний подъярус. Литологически граница с туроном едва прослеживается только в полных карбонатных разрезах внутрiformационным перерывом, выраженным тонким прослоем карбонатных глин. Верхнеконьякские отложения сохранились не в полном объёме, что определено предсантонским эрозионным срезом.

В южном направлении стратиграфическая полнота и мощности разрезов в целом существенно возрастают, в основном за счёт коньякского интервала, представленного мелом и мергелем (рис. 6, 7). В частности, разрез Каменный Брод (Волгоград-



ская область) может рассматриваться как гипостратотип местного стратиграфического подразделения — вольской свиты [44], которая изначально была выделена на площади, лежащей севернее, за пределами изучаемой территории [21].

Особенности распространения макрофауны позволили достоверно выделить интервалы отложений среднего—верхнего турона, а также нижнего коньяка. Более детально расчленение до уровня зон устанавливается по результатам изучения распространения БФ, по которым устанавливаются стратоны, ранее предложенные В.Н. Беньямовским [4, 5], скоррелированные с зональными схемами по иноцерамам, аммонитам и белемнитам.

Отличительная особенность туронских отложений рассматриваемой территории заключается в том, что практически повсеместно, за исключением единичных разрезов, тяготеющих к южной периферии, отсутствуют отложения нижнего турона. Вместе с тем необходимо отметить, что в базальной части изученных разрезов распространён фосфоритовый горизонт, в котором встречены хорошо сохранившиеся нижнетуронские белемниты на фоне полного отсутствия нижнетуронских БФ. Наиболее полно средне—верхнетуронские отложения представлены в южной части описываемой территории (рис. 6, 7). Здесь же наиболее хорошо выражены ниже- и среднеконьякские отложения [44]. В северном направлении, ближе к Елшано-Сергиевскому и Степновскому валам, карбонатный комплекс обогащается терригенным материалом, а мощности разрезов сокращаются, вследствие предконьякского и/или предсантонского эрозионных срезов (рис. 6, 7).

Литологически выраженные границы местных и региональных стратиграфических подразделений не всегда совпадают с биостратиграфическими реперами. Так, в разрезах карбонатных пород, с визуально установленными внутриформационными поверхностями несогласий (Каменный Брод, Нижняя Банновка), и в литологически однородных интервалах (Сплавнуха-2) подошва коньяка определяется только по результатам изучения БФ.

Особо фациально обособлены турон-коньякские терригенно-карбонатные образования (борисоглебская толща) [21], занимающие крайнюю северо-западную часть рассматриваемой территории (разрез Вишнёвое) [22, 23]. Эти отложения формировались в условиях мелководной среды при воздействии штормов (рис. 6, 7). Исходя из генезиса этого геологического тела и выявленных особенностей распространения микро- и макрофауны, предполагается, что борисоглебская толща формировалась начиная с поздне-туронского по

раннесантонское время включительно, а не только в коньяке, как считалось ранее [21].

Как это ни странно, при анализе распространения макрофауны, проявляется неоднозначная идентификация границы коньяка—сантона. В Поволжье начало сантона традиционно ассоциировалось с появлением иноцерамов группы *pactii/cardissoides*, встречающихся либо в кровле широко распространённого «губкового» горизонта, либо непосредственно над ним. Отмеченные в ряде разрезов особенности вертикального распределения этих моллюсков позволяют предположить, что они распространены в более широком стратиграфическом интервале, чем это принято считать, — от терминальной части верхнего коньяка до нижней части нижнего сантона. Сопоставление с зональной шкалой по бентосным фораминиферам показывает, что этот пограничный интервал соответствует нижней части подзоны LC8b схемы В.Н. Беньямовского [4, 5], чья основная часть считается нижесантонской. В одном из разрезов терригенно-карбонатных пород (Вишнёвое [22, 23]) изучение вертикального распределения белемнитов показало, что подошва сантона проходит на 1,0—1,5 м ниже «губкового» горизонта. Детальное расчленение нижней части сантона, на основе зональной схемы по БФ, не противоречит представлениям о диахронности «губкового» горизонта.

Полученные данные по вариации количественного соотношения бентосных и планктонных фораминифер (рис. 3) отражают динамику изменения глубины бассейна седиментации на протяжении среднетуронского—раннесантонского временного интервала [44]. В рассматриваемой структурно-фациальной зоне трансгрессия была максимальная в раннеконьякское время, что отразилось в литологическом составе и мощности сформировавшихся отложений. Трансгрессивно-регрессивные события отразились на особенностях расселения морской биоты. Устойчиво трансгрессирующий среднетуронский бассейн способствовал инвазиям фауны из сопредельных биохорий, что привело к максимальному таксономическому разнообразию в позднем туроне. Благоприятные условия способствовали расселению аммоноидей (*Lewesiceras*, *Scaphites*, *Hyphantoceras*, *Sciponoceras*), наутилоидей (*Eutrephoceras*), разнообразных двустворок, в частности, иноцерамов (*Inoceramus*, *Mytilloides*), ринхонеллидных и теребратулидных брахиопод, а также кораллов, мшанок, серпулид и усконогих раков. Иголкокожие (*Echinocorys*, *Micraster*, *Gauthieria*, *Bourgueticrinus*, *Nielsenicrinus*, *Glenotremites*, *Ophiotitanos*, *Ophioderma*, *Goniasteridae*) массово распространились в регионе в среднем—позднем туроне.



Выявленный в ряде разрезов (Каменный Брод, Чухонастовка, Мирошники, Сплавнуха) уровень концентрации их остатков может рассматриваться как репер среднего—верхнего турона юго-запада Ульяновско-Саратовского прогиба. Установленный комплекс туронских иглокожих отличается значительным таксономическим разнообразием в сравнении с известными данными по распространению представителей группы на территории Европейской части России. Последующая раннеконьякская трансгрессия, достигнув максимума, привела к увеличению глубин, что вызвало частичное сокращение видового разнообразия. Особенно сильно это отразилось на аммоноидеях. В то же время на иноцерамов (*Cremnoceramus*, *Mytilloides*), морских ежей и брахиопод это углубление бассейна повлияло в меньшей степени. Первые фазы сукцессии губкового сообщества, известного как раннесантонское, проявилось в конце среднего коньяка, на начальной регрессивной стадии развития бассейна. Любопытно, что обновление видового состава белемнитов также происходило в регрессивные фазы.

Выявленные по серии удалённых разрезов особенности площадного распространения фауны турона—коньяка позволяют предположить существование двух разноглубинных акваторий — южной глубоководной и северной мелководной. В правобережной Поволжье подобное соотношение мелководной и глубоководной частей бассейна показано в реконструкциях средне—позднесантонского времени на основе данных о площадном распространении малакофауны и кремниевых губок [28], т. е. конфигурацию дна можно считать унаследованной.

Глубоководная часть акватории, особенно в позднем туроне, характеризовалась распространением разнообразных иглокожих, мелких одиночных кораллов, мшанок, на общем фоне большего таксономического разнообразия и обилия моллюсков и брахиопод. Мелководные участки отличало заметное доминирование кремниевых губок и устричных двустворок.

Стратиграфическая детализация однообразного карбонатного губкинского надгоризонта позволила проследить проявление трансгрессивно-регрессивных тенденций развития бассейна седиментации в зависимости от существовавшего структурного плана территории. Юго-запад Улья-

новско-Саратовского прогиба в турон-коньякское время представлял собой обособленный, устойчиво погружающийся элемент в составе юго-восточного окончания Рязано-Саратовского прогиба. Эта особенность прослеживается при сравнении полученных результатов с известными данными по северо-восточной части Ульяновско-Саратовского прогиба, Вольской впадине [24, 29].

Заключение

В литологически однообразном интервале карбонатных пород туронского и коньякского ярусов, лежащих между сеноманскими терригенными и сантонскими карбонатно-кремнистыми породами, изучение бентосных фораминифер, позволило уточнить положение границы между ярусами, а также выделить зоны и подзоны по БФ. Палеонтологическое обоснование стратиграфических подразделений на уровне подъяруса дополнено данными по вертикальному распределению цефалопод, иноцерамов, иглокожих и брахиопод. Достоверно установлено присутствие отложений нижнего (локально), среднего и верхнего турона, нижнего и среднего коньяка.

Наиболее полные разрезы туронского и коньякского ярусов расположены в юго-западной части Ульяновско-Саратовского прогиба. Анализ мощностей карбонатного комплекса отложений показывает, что наибольшие значения относятся к нижнеконьякскому интервалу, соответствующему максимуму трансгрессии, что не противоречит данным о соотношении бентосных и планктонных фораминифер. Разрез Каменный Брод, расположенный в Волгоградской области, предлагается в качестве гипостратотипа вольской свиты.

В туронских мергелях по серии разрезов в юго-западной части изучаемой территории выделен уровень концентрированного захоронения иглокожих и мелкоразмерных брахиопод, который может рассматриваться как репер для сопоставления и расчленения монотонных разрезов.

Первые фазы формирования сукцессии кремниевых губок, представленной в подошве сантонских пород, в виде «губкового» горизонта, проявились в среднем коньяке. Перестройка структурного плана региона в предсантонское время обусловила неполную сохранность, а в ряде мест отсутствие коньякских отложений на территории Поволжья.



ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский А.Д. Верхнемеловые отложения востока Европейской России // *Материалы для геологии России*. СПб, 1912. Т. XXV. 631 с.
2. Архангельский А.Д., Добров С.А. Геологический очерк Саратовской губернии. М.: Печатня С.П. Яковлева, 1913. Вып. 1. 256 с.
3. Атлас позднемеловой фауны Донбасса / под ред. Г.Я. Крымгольца. М.: Недра, 1974. 640 с.
4. Беньямовский В.Н. Схема инфразонального биостратиграфического расчленения верхнего мела Восточно-Европейской провинции по бентосным фораминиферам. Статья 1. Сенومان—коньяк // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2008. Том 16. № 3. С. 36–46.
5. Беньямовский В.Н. Схема инфразонального биостратиграфического расчленения верхнего мела Восточно-Европейской провинции по бентосным фораминиферам. Статья 2. Сантон—маастрихт // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2008. Том 16. № 5. С. 62–74.
6. Бионотия позднемеловых морей востока Прикаспийской впадины. М.: Наука, 1985. 224 с.
7. Бондаренко Н.А. Стратиграфия и условия седиментации сантонских, кампанских и маастрихтских отложений Правобережья Нижнего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Саратов, 1990. 22 с.
8. Бушинский Г.И. Литология меловых отложений Днепрово-Донецкой впадины. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 307 с.
9. Василенко В.П. Фораминиферы верхнего мела полуострова Мангышлак // *Тр. ВНИГРИ*. 1961. Вып. 171. 487 с.
10. Вишневская В.С., Копаевич Л.Ф., Беньямовский В.Н., Овечкина М.Н. Корреляция верхнемеловых зональных схем Восточно-Европейской платформы по фораминиферам, радиоляриям и нанопланктону // *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология*. 2018, № 1. С. 26–35.
11. Глазунова А.Е. Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения меловых отложений Поволжья. Верхний мел. М.: Недра, 1972. 204 с.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-38 – Волгоград. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. 399 с.
13. Граница сантона—кампа на Восточно-Европейской платформе / Сб. статей. Отв. ред. Г.Н. Папулов, Д.П. Найдин. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР. 1979. Вып. 148. 118 с.
14. Зозырев Н.Ю. Сенومان юго-востока Рязано-Саратовского прогиба: стратиграфия и палеогеография: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Саратов, 2006. 24 с.
15. Зозырев Н.Ю. Меловатская свита (сенومان правобережного Поволжья): новые данные по стратиграфическому положению и объему // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о Земле»*. 2006б. Т. 6. Вып. 1. С. 31–38.
16. Климова Л.Т., Макарова Л.Н., Тихомирова Г.И. Литология и фации верхнемеловых отложений Мангышлака. М.: Наука, 1969. 98 с.
17. Колтыпин С.Н. Верхнемеловые отложения Урало-Эмбенской солянокупольной области, юго-западного Приуралья и Примуроджарья // *Тр. ВНИГРИ*. Вып. 109. Л.: Гостоптехиздат, 1957. 218 с.
18. Липник Е.С., Люльева С.А. Зональное расчленение сеноманских-сантонских отложений Днепровско-Донецкой впадины по бентосным фораминиферам и известковому нанопланктону. Киев. Изд-во ин-т геолог. наук АН УССР, 1981. 49 с.
19. Мозговой В.В. Биометрический анализ кампанских и маастрихтских белемнителлид юго-востока Русской платформы: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Саратов, 1969. 19 с.
20. Морозов Н.С. Верхнемеловые отложения междуречья Дона и Северного Донца и южной части Волго-Донского водораздела. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1962. 194 с.
21. Олферьев А.Г., Алексеев А.С. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка. М.: Изд-во ПИН РАН, 2005. 204 с.
22. Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Иванов А.В., Копаевич Л.Ф., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Тесакова Е.М., Харитонов В.М., Щербинина Е.А. Верхнемеловые отложения северо-запада Саратовской области. Статья 1. Разрез у д. Вишнёвое. Лито- и биостратиграфический анализ // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2007. Т. 15, № 6. С. 62–109.
23. Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Иванов А.В., Копаевич Л.Ф., Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Тесакова Е.М., Харитонов В.М., Щербинина Е.А. Верхнемеловые отложения северо-запада Саратовской области. Статья 2. Проблемы хроностратиграфической корреляции и геологической истории региона // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2008. Т. 16. № 3. С. 47–74.
24. Олферьев А.Г., Сельцер В.Б., Алексеев А.С., Амон Э.О., Беньямовский В.Н., Иванов А.В., Овечкина М.Н., Харитонов В.М. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 3. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Красный октябрь» на южной окраине г. Вольска // *Бюл. МОИП. Отд. геол.* 2014. Т. 89. Вып. 6. С. 45–76.
25. Первушов Е.М. Геохронология и структура «сантонского» «губкового» горизонта в пределах правобережного Поволжья // *Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии* / Сб. науч. трудов / Под ред. Е.Ю. Барабошкина. Симферополь: Изд-во «Дом Черноморпресс», 2016. С. 205–207.
26. Первушов Е.М., Архангельский М.С., Иванов А.В. Каталог местонахождений остатков морских рептилий в юрских и меловых отложениях Нижнего Поволжья. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1999. 230 с.
27. Первушов Е.М., Иванов А.В., Гужиков А.Ю., Гришанов А.Н. Результаты комплексного изучения альбских – сеноманских отложений в разрезах Меловатка-6 и Красный Яр-1 (Волгоградская область) // *Труды научно-исследовательского института геологии СГУ им. Н.Г. Чернышевского*. Новая серия. Т. 1. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1999. С. 65–78.
28. Первушов Е.М., Иванов А.В., Попов Е.В. Средне- и позднемеловая биота юго-востока Европейской палеобиогеографической области // *Палеонтол. журн.* 1997. № 3. С. 1–7.
29. Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Попов Е.В., Гужикова А.А. Сантон Вольской впадины (Саратовское правобережье) // *Палеострат-2016. Программа и тезисы докладов* (под ред. А.С. Алексеева). М.: Изд-во Палеонтологического института РАН, 2016. С. 63–64.
30. Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Фомин В.А., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Бирюков А.В., Суринский А.М. Комплексное био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов



- «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 1. Характеристика разрезов, результаты петромагнитных и магнито-минералогических исследований // Известия Саратовского государственного университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 17. Вып. 2. С. 105–116.
31. Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Фомин В.А., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Бирюков А.В., Суринский А.М. Комплексное био- и магнито-стратиграфическое изучение разрезов «Озерки» (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 2. Характеристика ориктокомплексов и био-стратиграфия // Известия Саратовского государственного университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 17. Вып. 3. С. 182–199.
 32. Практическое руководство по микрофауне СССР. Т. 5. Фораминиферы мезозоя / Мин-во геологии СССР. Всесоюз. нефтяной науч.-исслед. геол.-развед. ин-т. Л.: Недра, 1991. 375 с.
 33. Савчинская О.В. Условия существования поздне-меловой фауны Донецкого бассейна. М.: Наука, 1982. 132 с.
 34. Собоцкий В.А. Донные сообщества и биогеография поздне-меловых платформенных морей юго-запада СССР. М.: Наука, 1978. 188 с.
 35. Стратиграфия СССР. Меловая система (полутом 1). / Под ред. Б.С. Соколова. М.: Недра, 1986. 340 с.
 36. Стратиграфический очерк // Атлас мезозойской фауны и спорово-пыльцевых комплексов Нижнего Поволжья и сопредельных областей / Под ред. В.Г. Камышевой-Елпатьевской. Вып. 1. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1967. 257 с.
 37. Суринский А.М., Гужиков А.Ю. Опыт цикло-стратиграфического анализа петромагнитных данных по разрезу турона – маастрихта «Нижняя Банновка» (юг Саратовского Правобережья) // Известия Саратовского государственного университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 17. Вып. 2. С. 117–124.
 38. Флерова О.В., Гурова А.Д. Новые данные по стратиграфии и палеогеографии верхнемеловых отложений Ульяновско-Саратовского Поволжья и среднего течения р. Дон // Тр. ВНИГНИ. 1956. Вып. 7. С. 145–165.
 39. Харитонов В.М., Сельцер В.Б., Иванов А.В. К вопросу о расчленении турон-коньякских отложений в классическом разрезе «Нижняя Банновка» (Саратовское Поволжье) по фауне иноцерамов // Труды НИИ Геологии СГУ. Нов. сер. 2001. Т. VIII. С. 21–28.
 40. Харитонов В.М., Иванов А.В., Сельцер В.Б. Стратиграфия туронских и коньякских отложений Нижнего Поволжья // Недра Поволжья и Прикаспия. 2003. Вып. 26. С. 48–60.
 41. Guzhikova, A.A., Guzhikov, A.Yu., Pervushov, E.M., Ryabov I.P., Surinskiy A.M. Existence of the Reversal Polarity Zones in Turonian-Coniacian from the Lower Volga (Russia): New Data // Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism. Ed.: Nurgaliev D., Shcherbakov V., Kostrov A., Spassov S. Springer Geophysics. Springer, Cham, 2019. P. 353–369.
 42. Košťák M. Goniocamax christenseni n. sp. (Belemnitellidae, Belemnitida) — a new species from the Upper Cretaceous Russia // Bulletin of the Geol. Soc. Denmark. 2005. Vol. 51. P. 113–120.
 43. Koutsoukos, E.A.M. & Hart, M.B. Cretaceous foraminiferal morphogroup distribution patterns, palaeocommunities and trophic structures: a case study from the Sergipe Basin, Brazil // Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences. 1990. Vol. 81. No 3. P. 221–246.
 44. Pervushov E.M., Ryabov I.P., Guzhikov A.Yu., Vishnevskaya V.S., Kopaevich L.F., Guzhikova A.A., Kalyakin E.A., Fomin V.A., Sel'tser V.B., Il'inskii E.I., Mirantsev G.V., Proshina P.A. Turonian-Coniacian Deposits of the Kamennyi Brod-1 Section (Southern Ulyanovsk-Saratov Trough) // Stratigraphy and Geological Correlation. 2019. Vol. 27. No. 7. P. 783–818.
 45. Setoyama E., Kaminski A.M., Tyszka J. Cretaceous—Paleogene foraminiferal morphogroups as palaeoenvironmental tracers of the rifted Labrador margin, northern proto-Atlantic // Proceedings of the Ninth International Workshop on Agglutinated Foraminifera. Ed. M.A. Kaminski & L. Alegret // Grzybowski Foundation Special Publication. 2017. 22. P. 179–220.
 46. Walaszczyk I., Wood C.J. Inoceramids and biostratigraphy at the Turonian/Coniacian boundary; based on the Salzgitter-Salder Quarry, Lower Saxony, Germany, and the Supia Nadbrzenna section, Central Poland // Acta Geol. Polonica. 1998. Vol. 48, No 4. P. 395–434.
 47. Walaszczyk, I., Dubicka, Z., Olszewska-Nejbert, D., Remin, Z. Integrated biostratigraphy of the Santonian through Maastrichtian (Upper Cretaceous) of extra-Carpathian Poland. // Acta Geologica Polonica. 2016. 66 (3). P. 313–350.
 48. Walaszczyk I., Pervushov E.M., Seltzer V.B., Dubicka Z. Sponge horizon at the Coniacian – Santonian boundary of the Saratov Cretaceous; integrated stratigraphy and palaeogeographic significance // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Материалы IX Всероссийского совещания / Под ред. Е.Ю. Барабошкина, Т.А. Липницкой, А.Ю. Гужикова. Белгород: ПОЛИТЕРРА, 2018. С. 77–79.

REFERENCES

1. Arkhangelsky A.D. Upper Cretaceous deposits of the eastern part of the European Russia. *Materials on the Geology of Russia*, 1912, vol. XXV, no. 2, 631 p. (In Russian)
2. Arkhangelsky A.D., Dobrov S.A. Geological essay of the Saratov Province. *The Data on Studying the Natural–Historical Conditions in the Saratov Province*. Moscow, Pechatnya S. vol. 1, 1913, 256 p. Yakovleva. (In Russian).
3. *Atlas of Upper Cretaceous of Donbas*. Ed. G.Ya. Krymgolz. Moscow, Nedra Publ., 1974, 640 p. (In Russian).
4. Beniamovski V.N. Infrazonal Biostratigraphy of the Upper Cretaceous in the East European Province Based on Benthic Foraminifers. Part 1. Cenomanian–Coniacian. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2008, vol. 16, no. 3, pp. 257–266. (In Russian)
5. Beniamovski V.N. Infrazonal biostratigraphy of the Upper Cretaceous in the East European province based on benthic foraminifers. Part 2. Santonian–Maastrichtian. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2008, vol. 16, no. 5, pp. 515–527. (In Russian).
6. *Upper cretaceous Eastern Precaspian depression seas bionomy*. Moscow. Nauka Publ., 1985, 224 p. (In Russian).
7. Bondarenko N.A. *Stratigraphy and sedimentary terms of Santonian, Campanian and Maastrichtian deposits of Lower Volga river right bank*. Autoref. diss cand. of geol. and min. science, Saratov, 1990, 22 p. (In Russian).
8. Bushinskii G.I. *Dnepr-Donetsk depression Upper cretaceous lithology*. Moscow, Academy of Science USSR Publ., 1951, 307 p. (In Russian).



9. Vasilenko V.P. Upper Cretaceous foraminifers of the Mangyshlak Peninsula. *Trans. All-Russ. Petrol. Res. Inst.*, 1961, vol. 171, 487 p. (In Russian).
10. Vishnevskaya V.S., Kopaevich L.F., Benyamovski V.N., Ovechkina M.N. Correlation of the Upper Cretaceous zonal schemes of the eastern European platform on foraminifers, radiolaries and nannoplankton. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology.* 2018, no. 1, pp. 26–35. (In Russian)
11. Glasunova A.E. *Paleontological bases of the stratigraphical subdivision of the Cretaceous deposits of Povolzhe. Upper Cretaceous.* Moscow, Nedra Publ., 1972, 204 p. (In Russian)
12. *State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Central European Series. Sheet M-38 – Volgograd. Explanatory note.* Saint-Petersburg, Cartographic factory at the VSEGEI, 2009, 399 p. (In Russian).
13. East-European Craton Santonian-Campanian stages boundary. *Collection of articles.* Ed. G.N. Papulov, D.P. Naidin, Sverdlovsk, USC AS USSR Publ., 1979, vol. 148. 118 p. (In Russian)
14. Zozyrev N.Yu. *Cenomanian stage stratigraphy and paleogeography of Southeastern Ryazan-Saratov trough: Autoref. diss cand. of geol. and min. science.* Saratov, 2006, 24 p. (In Russian).
15. Zozyrev N. Yu. Melovatka suite (senomanian stage of the right bank of the Volga region): new data on stratigraphic position and volume. *Izv. Saratov Univ. (N.S.). Ser. Earth Sciences*, 2006, vol. 6, iss. 1, pp. 198–213. (In Russian)
16. Klimova L.T., Makarova L.N., Tihomirova G.I. *Upper Cretaceous deposits lithology and facies of Mangyshlak region*, Moscow, Nauka Publ., 1969, 98 p. (In Russian)
17. Koltypin S.N. Upper cretaceous deposits of Ural-Embian cap rocks region of Near Urals and Near Mugodjar south east region. *Trans. All-Russ. Petrol. Res. Inst. Leningard, Gostoptehizdat*, 1957, vol. 109, 218 p. (In Russian)
18. Lipnik E.S., Yulieva S.A. *Infrazonal Biostratigraphy of Cenomanian-Santonian stages of the Dnepr-Donetsk depression on Benthic Fopraminifera and Calcareous nanoplankton.* Kiev, Geology science institute AS USSR Publ., 1981, 49 p. (In Russian)
19. Mozgovoi V.V. *Biometrical analysis of Campanian and Maastrihtian belemnella of Russian Craton southern east: Autoref. diss cand. of geol. and min. science*, Saratov, 1969, 19 p. (In Russian)
20. Morozov N.S. *Upper Cretaceous deposits from the Don – Severnyj Donets interfluvium and the southern part of the Volga – Don watershed divide*, Saratov, Saratov Univ. Publ., 1962, 176 p. (In Russian)
21. Olferyev A.G., Alekseyev A.S. *Stratigraphic chart of the Upper Cretaceous beds from the East European Platform. Explanatory note*, Moscow, Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences, 2005, 204 p. (In Russian)
22. Olferyev A.G., Benyamovski V.N., Vishnevskaya V.S., Ivanov A.V., Kopayevich L.F., Pervushov E.M., Seltser V.B., Tesakova E.M., Kharitonov V.M., Shcherbinina E.A. Upper Cretaceous deposits in the northwest of Saratov oblast, Part 1: Litho- and biostratigraphic analysis of the Vishnevoe section. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2007, vol. 15, no. 6, pp. 610–655.
23. Olferyev A.G., Benyamovski V.N., Vishnevskaya V.S., Ivanov A.V., Kopayevich L.F., Pervushov E.M., Seltser V.B., Tesakova E.M., Kharitonov V.M., Shcherbinina E.A. Upper Cretaceous Deposits in the Northwest of Saratov Region, Part 2. Problems of Chronostratigraphy and Regional Geological History. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2008, vol. 16, no. 3, pp. 267–294.
24. Olferyev A.G., Seltser V.B., Alekseyev A.S., Amon V.N., Benyamovski V.N., Ivanov A.V., Ovechkina M.N., Kharitonov V.M. Upper Cretaceous of north Saratov region. Biostratigraphic subdivision of «Krasny Oktyabr» quarry section on southern outskirts of Volsk town. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological series*, 2014, vol. 89, no. 6, pp. 45–76.
25. Pervushov E.M. Geochronology and structure of the santonian sponge horizon from the right bank of the Volga. *Cretaceous system of Russia and CIS countries: problems of stratigraphy and paleogeography.* Proceedings. Ed. E.Y. Baraboshkin. Simferopol, Chernomorpress Publishing House, 2016, pp. 205–207. (In Russian)
26. Pervushov E.M., Archangelsky M.S., Ivanov A.V. *The and cretaceous deposits sea reptiles remnants sections catalogue of Lower Volga region.* Saratov, Gov. SSC «College» Publ., 1999, 230 p. (In Russian)
27. Pervushov E.M., Ivanov A.V., Guzhikov A.Yu., Grishanov A.N. The complexional research result of Albian-Cenomanian deposits in the Melovatka-6 and Krasny Yar-1 sections (Volgograd region). *Transactions of the Scientific Research Geological Institute of the N.G. Chernyshevskii Saratov State University. New Series*, 1999, vol. I, pp. 65–78. (In Russian)
28. Pervushov E. M., Ivanov A. V., Popov E. V. Middle and Late Cretaceous Biota from the Southeast of the European Paleobiogeographic Region. *Paleontological Journal*, 1997, vol. 31, no. 3, pp. 259–265.
29. Pervushov E. M., Seltser V. B., Kalyakin E. A., Popov E.V., Guzhikova A. A. The Santonian of the Volsk Depression (Volga right bank area near Saratov) // *Paleostrat – 2016. Annual meeting (scientific conference) of the paleontology section at the MOIP and the Moscow branch of the Paleontology society at the RAS.* Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 2016, pp. 63–65. (In Russian)
30. Pervushov E.M., Seltser V.B., Kalyakin E.A., Fomin V.A., Ryabov I.P., Ilyinskij E.I., Guzhikova A.A., Biryukov A.V., Surinskij A.M. Integrated bio and Magnetostratigraphic Study of the «Ozerki Sections» (Upper Cretaceous, Right Bank of the Volga in the Saratov Region). Paper 1. Section Characteristics, Results of Petromagnetic and Magneticmineralogical Examinations. *Izv. Saratov Univ. (N. s.), Ser. Earth Sciences*, 2017, vol. 17, iss. 2, pp. 105–116. (In Russian)
31. Pervushov E. M., Seltser V. B., Kalyakin E. A., Fomin V. A., Ryabov I. P., Ilyinskij E. I., Guzhikova A. A., Biryukov A. V., Surinskij A. M. Integrated bio and Magnetostratigraphic Study of the Ozerki Sections (Upper Cretaceous, Right Bank of the Volga in the Saratov Region). Paper 2. Oryctocoenosis Characteristics and Biostratigraphy. *Izv. Saratov Univ. (N. s.), Ser. Earth Sciences*, 2017, vol. 17, iss. 3, pp. 182–199. (In Russian)
32. The practical USSR microfaunal manual. Vol. 5. Mesozoic foraminifera. Geological ministry of USSR. *All-union oil scientific research Geological-Prospecting Institute.* Leningrad, Nedra Publ., 1991, 375 p. (In Russian)
33. Savchinskaya O.V. *Donetsk basin's Late cretaceous fauna terms existence.* Moscow, Nauka Publ., 1982, 132 p. (In Russian)
34. Sobetskii V.A. *Bottom faunal assemblages and biogeography of southeastern USSR late cretaceous craton seas.* Moscow, Nauka Publ., 1978, 188 p. (In Russian)
35. *Stratigraphy of USSR. Cretaceous system (Half of a volume 1).* Ed. B.S. Sokolova, Moscow, Nedra Publ., 1986, 340 p. (In Russian)
36. Stratigraphic essay. In: *Atlas of Mesozoic fauna and spore-pollen assemblages from the Lower Volga Region and the adjacent areas.* Ed. V.G. Kamyshcheva-Elpatyevskaya Saratov, Saratov University Publ., 1967, 257 p. (In Russian)
37. Surinskij A.M., Guzhikov A.Yu. Experience of Cyclostratigraphic Analysis of Petromagnetic Data on the Turonian–Maastrihtian Section «Nizhnaya Bannovka» (Volga River Right Bank, Southern Saratov Region). *Izv. Saratov Univ. (N. s.), Ser. Earth Sciences*, 2017, vol. 17, iss. 2, pp. 117–124. (In Russian)



38. Flerova O.V., Gurova A.D. Ulyanovsk-Saratov Volga region and middle Don region stratigraphy and paleogeographical new data, *Trans. All-Russ. Petrol. Res. Inst.*, 1956, vol. 7, pp. 145–165. (In Russian)
39. Kharitonov V.M. Seltzer V.B. Ivanov A.V. To the question on correlation of Turonian–Coniacian deposits in the classical section «Nizhnaya Bannovka» (Saratov Volga River Basin) based on inoceramid fauna. *Transactions of the Scientific Research Geological Institute of the N.G. Chernyshevskii Saratov State University. New Series*, 2001, vol. VIII, pp. 21–28. (In Russian)
40. Kharitonov V.M., Ivanov A.V., Seltzer V.B. The Turonian and Coniacian deposits stratigraphy in the Low Volga region. *Near Volga and Precaspian regions mineralogical resources*, 2003, vol. 26, pp. 48–60. (In Russian)
41. Guzhikova, A.A., Guzhikov, A.Yu., Pervushov, E.M., Ryabov I.P., Surinskiy A.M. Existence of the Reversal Polarity Zones in Turonian-Coniacian from the Lower Volga (Russia): New Data. *Recent Advances in Rock Magnetism, Environmental Magnetism and Paleomagnetism*. Ed. D. Nurgaliev, V. Shcherbakov, A. Kosterov, S. Spassov Springer Geophysics, Springer, Cham. 2019, pp. 353–369.
42. Košťák M. *Gonicamax christenseni* n. sp. (Belemnitellidae, Belemnitida) – a new species from the Upper Cretaceous Russia. *Bulletin of the Geol. Soc. Denmark*, 2005, vol. 51, pp. 113–120.
43. Koutsoukos, E.A.M. & Hart, M.B. Cretaceous foraminiferal morphogroup distribution patterns, palaeocommunities and trophic structures: a case study from the Sergipe Basin, Brazil. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 1990, vol. 81, no. 3, pp. 221–246.
44. Pervushov E.M., Ryabov I.P., Guzhikov A.Yu., Vishnevskaya V.S., Kopaeich L.F., Guzhikova A.A., Kalyakin E.A., Fomin V.A., Sel'tser V.B., Il'inskiy E.I., Mirantsev G.V., Proshina P.A. Turonian–Coniacian Deposits of the Kamennyi Brod-1 Section (Southern Ulyanovsk–Saratov Trough). *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2019, vol. 27, no. 7, pp. 783–818.
45. Setoyama E., Kaminski A. M., Tyszka J. Cretaceous–Paleogene foraminiferal morphogroups as palaeoenvironmental tracers of the rifted Labrador margin, northern proto-Atlantic. *Proceedings of the Ninth International Workshop on Agglutinated Foraminifera*. Ed. M.A. Kaminski, & L. Alegret, Grzybowski Foundation Special Publication, 2017, 22, pp. 179–220.
46. Walaszczyk I., Wood C.J. Inoceramids and biostratigraphy at the Turonian/Coniacian boundary; based on the Salzgitter-Salder Quarry, Lower Saxony, Germany, and the Supia Nadbrzana section, Central Poland. *Acta Geologica Polonica*. 1998, vol. 48, no. 4, pp. 395–434.
47. Walaszczyk, I., Dubicka, Z., Olszewska-Nejbert, D., Remin, Z. Integrated biostratigraphy of the Santonian through Maastrichtian (Upper Cretaceous) of extra-Carpathian Poland. *Acta Geologica Polonica*, 2016, vol. 66, no. 3, pp. 313–350.
48. Walaszczyk I., Pervushov E.M., Seltzer V.B., Dubicka Z. Sponge horizon at the Coniacian – Santonian boundary of the Saratov Cretaceous; integrated stratigraphy and palaeogeographic significance. *Cretaceous system in Russia and the near abroad: the problems of stratigraphy and paleogeography. Proceedings of IX All-Russian Meeting*. Ed. E.Yu. Baraboshkin, T.A. Lipnitskaya, A.Yu. Guzhikov. Belgorod, POLYTERRA Publ., 2018, pp. 77–79.

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ
MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

УДК 551.82

**К РЕКОНСТРУКЦИИ КАТЕГОРИЙ РЕК, СФОРМИРОВАВШИХ ВЫПОЛНЕНИЕ
ОСАДОЧНЫХ БАСЕЙНОВ РИФЕЯ В ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ ВОСТОЧНО-
ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И СОВРЕМЕННОГО ЮЖНОГО УРАЛА***

А.В. МАСЛОВ

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
15, Вонсовского ул., г. Екатеринбург 620016, Россия
e-mail: amas2004@mail.ru*

*Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия*

Сведения о распределении ряда редких и рассеянных элементов в донных осадках устьевых зон различных категорий рек (крупные реки, реки дренирующие водосборы, сложенные осадочными или магматическими и метаморфическими породами и др.) как алевритовой, так и пелитовой размерностей, можно рассматривать как отражающие характерные черты взвеси, транспортируемой в морские бассейны из различных питающих провинций. При определенных ситуациях состав поверхностных донных осадков морского бассейна определяется составом взвеси какой-либо впадающей в него крупной реки (Каспийское море и р. Волга, море Лаптевых и р. Лена и др.). Сходство и различие РЗЭ-систематики донных осадков устьевых зон и взвеси рек различных категорий достаточно хорошо выражено на парных диаграммах $(La/Yb)_N$ – $(Eu/Sm)_N$, $(La/Yb)_N$ – Th и др. Нами выполнено сопоставление особенностей распределения редкоземельных элементов и Th в глинистых породах рифея Южного Урала и в донных отложениях устьевых частей различных категорий современных рек. Сделан вывод, что слагающие типовой разрез рифея глинистые породы образованы за счёт размыва в основном или преимущественно осадочных и/или осадочно-метаморфических комплексов, существовавших в дорифее или рифее на востоке Восточно-Европейской платформы и к настоящему времени не сохранившихся.

Ключевые слова: Южный Урал; рифей; глинистые породы; редкоземельные элементы; Th ; современные реки различных категорий.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-28-36

**TO RECONSTRUCTION OF THE RIVER'S CATEGORIES WHICH FORMED
SEDIMENTARY BASINS OF RIPHEAN BASINS IN THE REGION OF THE EASTERN
EUROPEAN PLATFORM AND MODERN SOUTH URALS JUNCTURE**

A.V. MASLOV

*The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch (UB) of the Russian Academy of Sciences (RAS)
15, Vonsovskogo St., Yekaterinburg 620016, Russia
e-mail: amas2004@mail.ru*

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky street, Moscow 19017, Russia*

Information on the distribution of trace and rare-earth elements in the bottom sediments of estuarine zones of various river categories (large rivers, rivers draining water collections, composed of sedimentary or magmatic and metamorphic rocks, etc.) of silt and pelitic dimensions can be considered as the data, reflecting characteristic features of the suspension, transported to marine basins from various catchment provinces. In certain situations,





the composition of the surface bottom sediments of the marine basin is determined by the suspension composition of any large river flowing into it (the Caspian Sea and the Volga River, the Laptev Sea and the Lena River, etc.). The similarity and difference in the rare-earth elements (REE) systematics of bottom sediments of estuarine zones and suspended particulate matter of rivers of various categories is quite well expressed in the pair diagrams $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$, $(La/Yb)_N - Th$, etc. A comparison of the features of the distribution of REE and Th in the Riphean clay rocks of the Southern Urals and in bottom sediments of the estuaries of various categories of recent rivers has been performed. It has been concluded that clay rocks forming a typical Riphean section are formed due to the erosion of mainly or predominantly sedimentary and/or metasedimentary complexes that existed during the PreRiphean or the Riphean in the east part of the East European platform and have not survived to date.

Keywords: Southern Urals; Riphean; clay rocks; rare-earth elements; Th; recent rivers of various categories.

Известно, что данные о микроэлементном составе взвешенного материала крупных рек мира, а также из донных осадков устьевых зон играют важную роль при построении различных геологических и геохимических моделей, так как позволяют не только судить о составе размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород, но и рассматриваются при исследовании осадочных образований в качестве своеобразных референтных материалов (например, «средний речной взвешенный сток»/«Average river suspended load», ARSL [16], «средний тонкозернистый аллювиальный осадок Северо-Восточной Австралии»/«Mud from Queensland», MUQ [17], «средний взвешенный материал мировых рек»/«Average Suspended Sediment in World Rivers», SSWR [18]).

В 2015 г. опубликована работа [15], в которой рассмотрены результаты исследования более 50 специальным образом (удаление нетерригенных носителей редкоземельных элементов (РЗЭ) посредством процедуры пошагового выщелачивания) подготовленных проб алевритовых и пелитовых фракций донных осадков поверхностного

слоя устьевых частей рек, среди которых были как крупнейшие водные артерии, дренирующие водосборы, сложенные гетерогенными ассоциациями пород широкого возрастного диапазона, так и относительно небольшие реки, транспортирующие продукты разрушения более однородных в геологическом отношении питающих провинций. Все пробы отнесены авторами статьи [15] к четырём категориям: 1) донные осадки «крупных рек» (World's major rivers), т. е. рек с площадью водосборного бассейна > 100000 км²; 2) донные осадки устьевых зон рек, дренирующих осадочные образования (rivers draining «mixed/sedimentary» formations), площадь водосборного бассейна которых составляет < 100000 км²; 3) донные осадки устьев рек, питающихся продуктами размыва «магматических/метаморфических» террейнов (rivers draining «igneous/metamorphic» terranes); 4) донные осадки устьев рек, дренирующих вулканические провинции (rivers draining «volcanic» rocks).

Проведённый нами [11] анализ дал возможность считать, что суммированные в работе [15]

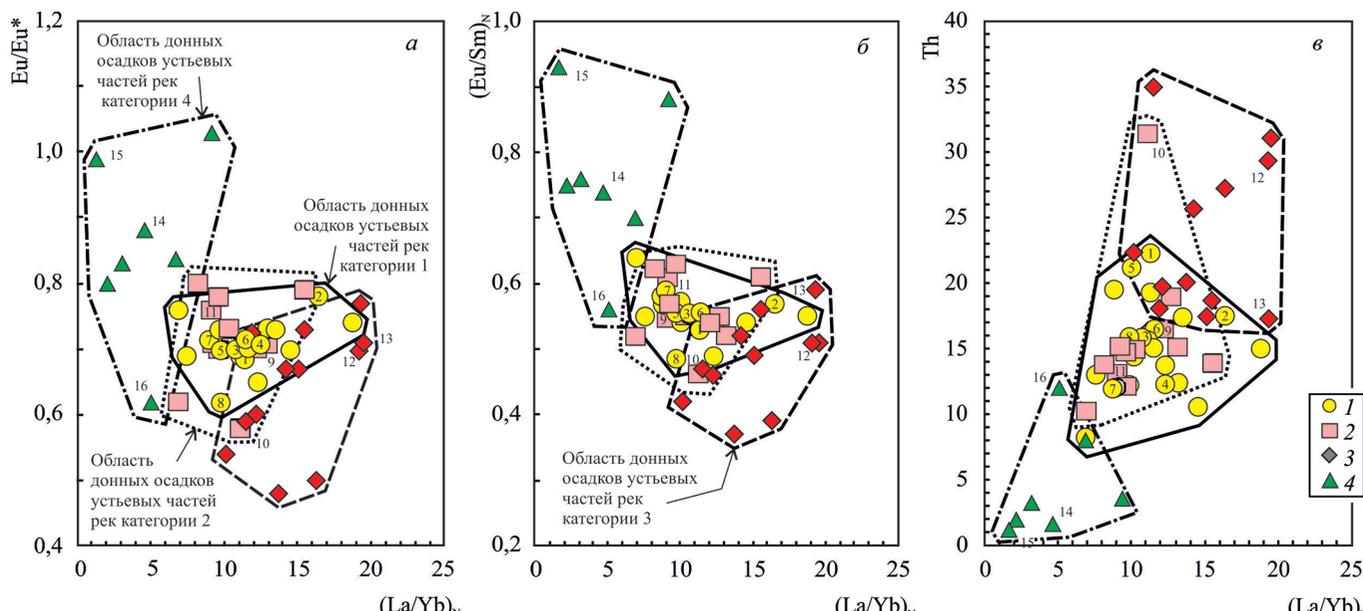


Рис. 1. Области распределения точек состава донных осадков устьевых частей различных категорий рек мира на диаграммах $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ (а), $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ (б) и $(La/Yb)_N - Th$ (в): 1 — область донных осадков устьевых частей рек категории 1 (здесь и далее — типичные примеры: 1 — Амазонка; 2 — Конго; 3 — Миссисипи; 4 — Нил; 5 — Янцзы; 6 — Маккензи; 7 — Волга; 8 — Ориноко); 2 — то же рек категории 2 (9 — Сена; 10 — Мэклонг; 11 — Сефид Руд); 3 — то же рек категории 3 (12 — Карони; 13 — Аро); 4 — то же рек категории 4 (14 — Камчатка; 15 — Гленариф; 16 — Вайкато/Уакито), всё по [15]



сведения о распределении ряда редких и рассеянных элементов в донных осадках устьевых зон различных категорий рек как алевроитовой, так и пелитовой (< 2 мкм) размерностей, можно рассматривать как отражающие характерные черты взвеси, транспортируемой реками в морские бассейны из различных питающих провинций. При определенных ситуациях состав поверхностных донных осадков того или иного морского бассейна определяется составом взвеси какой-либо впадающей в него крупной реки (например, Каспийское море и р. Волга [8], море Лаптевых и р. Лена [2] и др.).

Сходство и различие РЗЭ-систематики донных осадков устьевых зон и взвеси рек различных категорий достаточно хорошо выражены на парных диаграммах (рис. 1), где области состава донных отложений крупных рек и рек, дренирующих осадочные образования, характеризуются примерно 60–80-процентным перекрытием, а области рек, получающих взвешенный материал за счет размыва водосборов, сложенных, с одной стороны, магматическими и метаморфическими образованиями, а с другой — вулканическими породами, такого перекрытия не имеют.

Возникает закономерный вопрос — можно ли использовать указанные диаграммы с областями состава взвеси рек, дренирующих разные по составу водосборы, для реконструкции состава водосборов и категорий рек геологического прошлого? Ниже мы попытались ответить на него на примере анализа геохимических характеристик глинистых пород типового разреза рифея Южного Урала.

Объект исследования

Типовой разрез рифея представлен интра- и перикратонными терригенными и карбонатно-терригенными последовательностями, накапливавшимися в прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановках [9]. Он включает три осадочные серии — бурзянскую, юрматинскую и каратаускую, подробная характеристика которых приведена в [9, 12].

Бурзянская серия (нижний рифей) объединяет три свиты (снизу вверх): айскую, саткинскую и бакальскую. Айская свита (1700–2500 м) залегает с размывом и угловым несогласием на породах архея. В нижней её части преобладают песчаники с прослоями гравелитов и конгломератов и покровами метабазальтов, в верхней — глинистые сланцы с прослоями доломитов, алевролитов и песчаников. Саткинская свита (до 3000–3500 м) сложена преимущественно карбонатными породами. Бакальская свита (1500–1650 м) представлена в нижней части глинистыми сланцами с прослоями

доломитов и алевролитов, а в верхней — терригенными и карбонатными пачками.

На отложениях бурзянской серии с перерывом и угловым несогласием залегают терригенные и терригенно-карбонатные образования юрматинской серии (средний рифей), объединяющей машакскую, зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. Машакская свита (1600–3000 м) представлена песчаниками, конгломератами и алевролитами с подчиненными им пакетами глинистых сланцев. Зигальгинская свита (500–700 м) слагается почти исключительно кварцевыми песчаниками. Зигазино-комаровская свита (750–1500 м) объединяет пачки переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Авзянская свита (1600–2300 м) представлена карбонатными и терригенными толщами. На основании данных [14], формирование ее отложений происходило не ранее 1270 млн лет назад.

Каратауская серия (верхний рифей) включает зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты. Первая (1500–3000 м) объединяет аркозовые песчаники с прослоями гравелитов, конгломератов и алевролитов (бирьянская подсвита), пачки переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев (нугушская и бедерышинская подсвиты), а также толщу кварцевых песчаников (лемезинская подсвита). Минимальный U-Pb-изотопный возраст обломочных цирконов в песчаниках бирьянской подсвиты составляет 964 ± 57 млн лет [7]. Катавская свита (250–400 м) сложена глинистыми известняками и мергелями. Инзерская свита (100–1000 м) представлена пачками глауконито-кварцевых песчаников, алевролитов и аргиллитов, в нижней её части в ряде разрезов есть толща сероцветных известняков. Миньярская свита (500–800 м) сложена преимущественно доломитами. Укская свита (300–400 м) в нижней части представлена аргиллитами, песчаниками и алевролитами с прослоями известняков и мергелей, а в верхней — преимущественно известняками.

Основным источником материала для формирования описанных выше литостратиграфических единиц типового разреза рифея являлись, как это следует из исследований состава песчаников и галек конгломератов, а также изотопно-геохимических характеристик глинистых пород, кристаллические комплексы фундамента восточной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [1, 3–5 и др.]. Анализ Sm-Nd систематики тонкозернистых терригенных пород рифея Южного Урала выявил преобладание значений Nd модельного возраста в диапазоне 2,5–1,7 млрд лет. Вместе с тем, учитывая существенную роль в формирова-



Среднее содержание ряда РЗЭ и Th в глинистых породах рифея Южного Урала (г/г) и некоторые параметры нормированных на хондрит спектров РЗЭ

Свита, подсвита	La	Sm	Eu	Gd	Yb	Th	(La/Yb) _N	Eu/Eu*	(Eu/Sm) _N	n
Айская	26,03±14,42	4,65±1,97	0,94±0,39	3,74±1,65	1,81±0,72	10,19±3,29	9,87±4,18	0,72±0,09	0,54±0,07	27
Саткинская	32,60±15,65	4,57±2,08	0,87±0,37	3,56±1,56	1,61±0,48	10,60±4,46	13,10±4,39	0,67±0,07	0,53±0,09	26
Бакальская	38,91±15,48	5,53±1,97	1,08±0,38	3,61±1,50	1,69±0,51	13,34±3,44	15,00±4,07	0,76±0,12	0,53±0,10	29
Машакская	44,32±23,63	7,21±3,57	1,44±0,71	5,89±2,65	2,60±0,73	11,38±3,65	11,57±4,73	0,70±0,17	0,55±0,14	11
Зигальгинская	14,08±9,03	2,44±2,03	0,49±0,41	2,29±2,01	1,76±1,17	6,38±4,33	5,43±1,74	0,68±0,17	0,58±0,15	4
Зигазино-комаровская	21,06±10,92	3,55±1,46	0,79±0,36	2,81±1,38	1,60±0,71	5,68±2,92	9,09±5,14	0,76±0,09	0,60±0,08	11
Авзянская	18,22±13,50	3,57±2,12	0,72±0,43	2,77±1,74	1,43±0,84	6,80±4,51	9,03±5,21	0,70±0,08	0,54±0,06	29
Бирьянская	39,42±21,15	7,66±3,26	1,46±0,61	6,49±2,90	3,39±1,38	13,61±5,81	6,46±2,19	0,63±0,06	0,49±0,08	20
Нугушская	33,39±12,65	6,01±2,49	1,12±0,47	4,83±2,01	2,55±0,83	10,78±3,98	8,45±1,68	0,64±0,05	0,49±0,04	8
Бедершинская	38,74±17,12	6,47±1,09	1,32±0,26	5,73±1,24	3,00±0,57	11,64±2,35	8,95±4,82	0,67±0,09	0,54±0,05	38
Инзерская	29,00±17,70	5,52±2,40	0,92±0,38	4,50±2,09	2,51±1,07	10,47±5,73	7,09±2,37	0,58±0,04	0,46±0,05	16
Миньярская	18,39±8,58	2,56±1,24	0,50±0,23	2,29±1,11	2,11±1,00	11,99±5,30	6,05±0,94	0,61±0,08	0,51±0,08	8
Укская	24,25±10,93	3,92±1,75	0,73±0,33	3,54±1,56	1,89±0,82	9,36±4,59	8,46±0,95	0,60±0,05	0,50±0,05	8

Примечание. n – число проанализированных образцов.

нии верхней континентальной коры процессов рециклинга, представляется вероятным присутствие на палеоводосборах и архейских комплексов, тем более, что возраст обломочных цирконов в песчаниках рифея этому не противоречат. Дополнительным источником кластики служил, очевидно, ювенильный мафический материал [10].

Методы и подходы

Для рассмотрения обозначенного выше вопроса использованы данные о содержании La, Sm, Eu, Gd, Yb и Th в более чем 220 пробах глинистых пород всех трёх осадочных серий типового разреза рифея, полученные методом ИСП МС в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) (таблица). Характеристика вещественного состава этих пород и их литогеохимических особенностей приведена в [10]. Основным инструментом исследований являлся анализ положения индивидуальных и средних фигуративных точек состава глинистых пород (аргиллитов/глинистых сланцев/тонкозернистых обломочных пород) на указанных выше диаграммах.

Результаты исследований

Общие представления о составе областей питания для осадочного выполнения крупных седиментационных бассейнов, существовавших на востоке ВЕП в раннем, среднем и позднем рифее, можно суммировать следующим образом. В начале бурзяния/раннего рифея питающие провинции слага-

лись в различной степени метаморфизованными породами фундамента и осадочно-метаморфическими комплексами дорифейского платформенного проточехла (?). К началу среднего рифея роль выступов и блоков кристаллического фундамента, как источников кластики, оказалась, по-видимому, значительно минимизирована; основными поставщиками обломочного материала стали, по всей вероятности, нижнепротерозойские осадочно-метаморфические породы и осадочные образования бурзяния. Начало позднего рифея отмечено вовлечением в размыв более широкого спектра пород — метаморфических, осадочно-метаморфических, кислых магматических (как интрузивных, так и эффузивных) и в меньшей мере основных и ультраосновных. С течением времени в каждом седиментационном цикле (бурзяний, юрматиний и каратавий) происходила существенная пенепленизация областей размыва. Соответственно в область седиментации поступала более зрелая кластика, нестойкие к многократному переотложению литовые фрагменты уничтожались [6].

На диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ индивидуальные точки состава подавляющего числа образцов глинистых сланцев рифея Южного Урала сконцентрированы в двух областях — области донных осадков устьевых частей рек категорий 1 (донные осадки «крупных рек») и 2 (донные осадки устьевых зон рек, дренирующих осадочные образования) (рис. 2, а). Некоторая, относительно небольшая, часть их присутствует и в двух других областях. Увидеть иные закономерности распре-

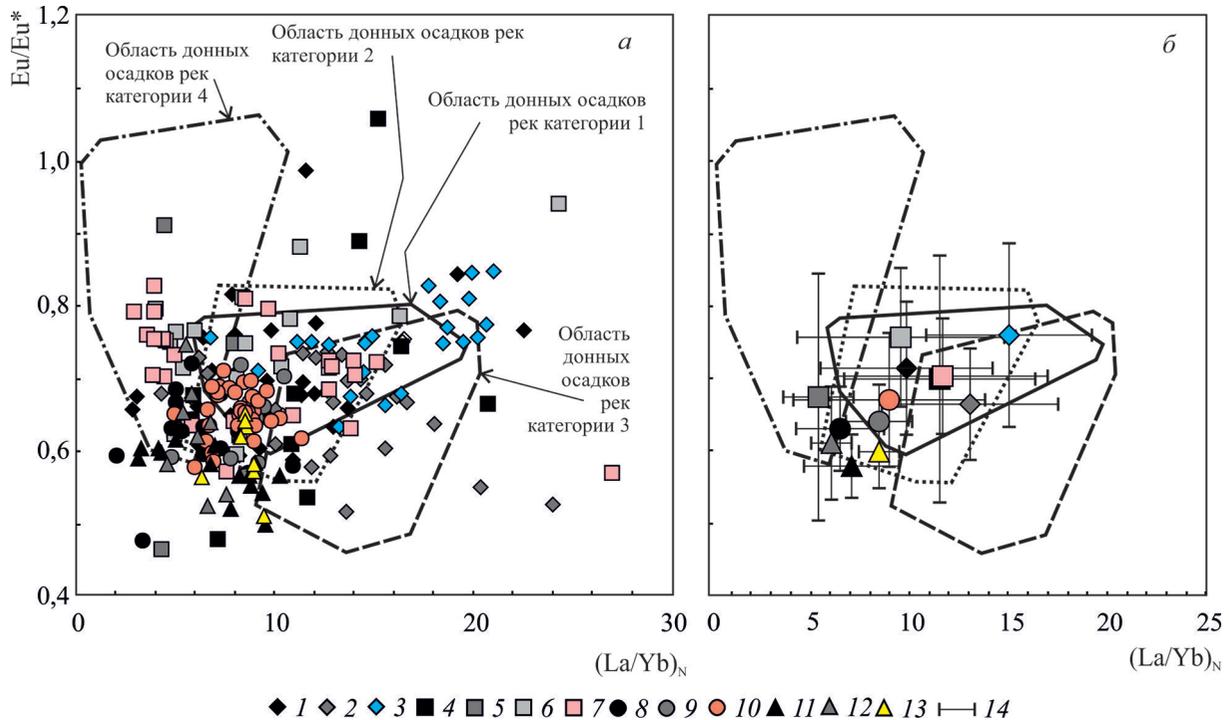


Рис. 2. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$: свиты и подсвиты: 1 — айская; 2 — саткинская; 3 — бакальская; 4 — машакская; 5 — зигальгинская; 6 — зигазино-комаровская; 7 — авзянская; 8 — бирьянская; 9 — нугушская; 10 — бедерышинская; 11 — инзерская; 12 — миньярская; 13 — укская; 14 — величины стандартных отклонений

ления более 200 фигуративных точек на данном графике, кроме обозначенной выше, трудно, и, следовательно, приходится обращаться к анализу распределения на этой диаграмме средних для свит или подсвит точек (рис. 2, б). Это распределение более информативно.

Так, собственно области донных осадков устьевых частей рек категорий 4 (донные осадки устьев рек, дренирующих вулканические провинции) отвечает только средняя точка тонкозернистых обломочных пород зигальгинской свиты юрматинской серии. В зоне перекрытия областей 1, 2 и 3 (донные осадки устьев рек, питающихся продуктами размыва «магматических/метаморфических» террейнов) локализованы средние точки состава глинистых пород машакской и авзянской свит, а также саткинской и бакальской свит бурзянской серии. Средние точки глинистых сланцев инзерской и укской свит верхнего рифея расположены в области 2. Это же, по всей видимости, можно сказать и о средних точках глинистых сланцев миньярской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея, расположенных и в области 2, и на границе области 4. В зоне перекрытия областей 1 и 2 находятся средние точки глинистых пород айской и зигазино-комаровской свит, а также нугушской и бедерышинской подсвит зильмердакской свиты верхнего рифея. Таким образом, на

диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ большинство средних точек составов глинистых пород различных литостратиграфических единиц типового разреза рифея, так же, как, естественно, и индивидуальные точки, сосредоточено в зоне перекрытия областей 1 и 2, а часть из них присутствует в зоне перекрытия областей 1, 2 и 3.

Это позволяет сделать весьма нестандартный вывод, а именно — вывод о том, что геохимические особенности (распределение РЗЭ и Th) тонкозернистых обломочных/глинистых пород типового разреза рифея (западный склон Южного Урала), накопившихся в прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановках, в существенной степени сопоставимы с характеристиками донных осадков современных рек, принадлежащих трём категориям — крупным рекам, рекам, дренирующим осадочные образования и рекам, питающимся продуктами эрозии магматических и метаморфических террейнов. Таким образом, обломочный материал, в том числе и тонкая алюмосиликокластика (пелитовый и алеврито-пелитовый материал), принимающий участие в сложении типового разреза рифея, поступал в седиментационный/ые бассейн/ы не непосредственно за счёт размыва комплексов фундамента восточной части ВЕП, а проходил стадию накопления (возможно, и не одну) в неких «промежу-



точных коллекторах», т. е. тех осадочных толщах, которые в настоящее время на востоке платформы отсутствуют.

На диаграмме $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ львиная доля индивидуальных точек глинистых сланцев локализована в зоне перекрытия областей составов донных осадков приустьевых частей рек категорий 1, 2 и 3 (рис. 3, а), но часть их (тонкозернистые обломочные породы машакской, зильмердакской, инзерской и миньярской свит) присутствует и вне каких-либо областей данной диаграммы, характеризуюсь значениями $(La/Yb)_N < 510$ и $(Eu/Sm)_N < 0,5$. Есть также отдельные точки (глинистые сланцы айской, саткинской, бакальской, машакской, зигазино-комаровской и авзянской свит), также расположенные вне основных областей, но которым присущи весьма высокие значения обоих названных параметров: $(La/Yb)_N > 20$ и $(Eu/Sm)_N > 0,60,7$.

Средние точки составов глинистых пород рифея Южного Урала распределены на данной диаграмме также преимущественно в зонах перекрытия полей 1 и 2, а также 1, 2 и 3 (рис. 3, б). Только средняя точка тонкозернистых обломочных пород зигальгинской свиты, как и в случае диаграммы $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, локализована в области составов донных отложений рек категории 4. Вне названных областей, но очень близко к ним остаются средние точки глинистых сланцев инзерской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты. В зоне перекрытия полей 1 и 2 расположены сред-

ние точки составов глинистых сланцев айской, зигазино-комаровской и укской свит, а также ряд точек тонкозернистых обломочных пород подсвит зильмердакской свиты. Присутствие в указанной позиции средней точки глинистых сланцев айской свиты весьма показательно. Это означает, как и в случае с аналогичным положением данной точки на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, что осадочные толщи базального подразделения типового разреза рифея формировались за счет размыва дорифейского осадочного или осадочно-метаморфического проточехла ВЕП, дискуссия о существовании которого продолжалась не одно десятилетие. В целом же, основываясь на распределении средних точек состава тонкозернистых обломочных пород различных свит и подсвит рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$, можно считать, что подавляющая часть слагающего типовой разрез рифея глинистого материала представляет собой продукт транспортировки большими реками (отложения рек категории 1), где в процессы эрозии вовлекаются как осадочные, так и любые другие комплексы пород, слагающие громадные территории. Материал этот /взвесь/отложения/ в таком случае в устьевых частях рек в существенной мере гомогенизируется или же был неоднократно вовлечён в процессы переотложения (отложения рек категории 2).

На диаграмме $(La/Yb)_N - Th$ распределение индивидуальных точек состава глинистых пород рифея

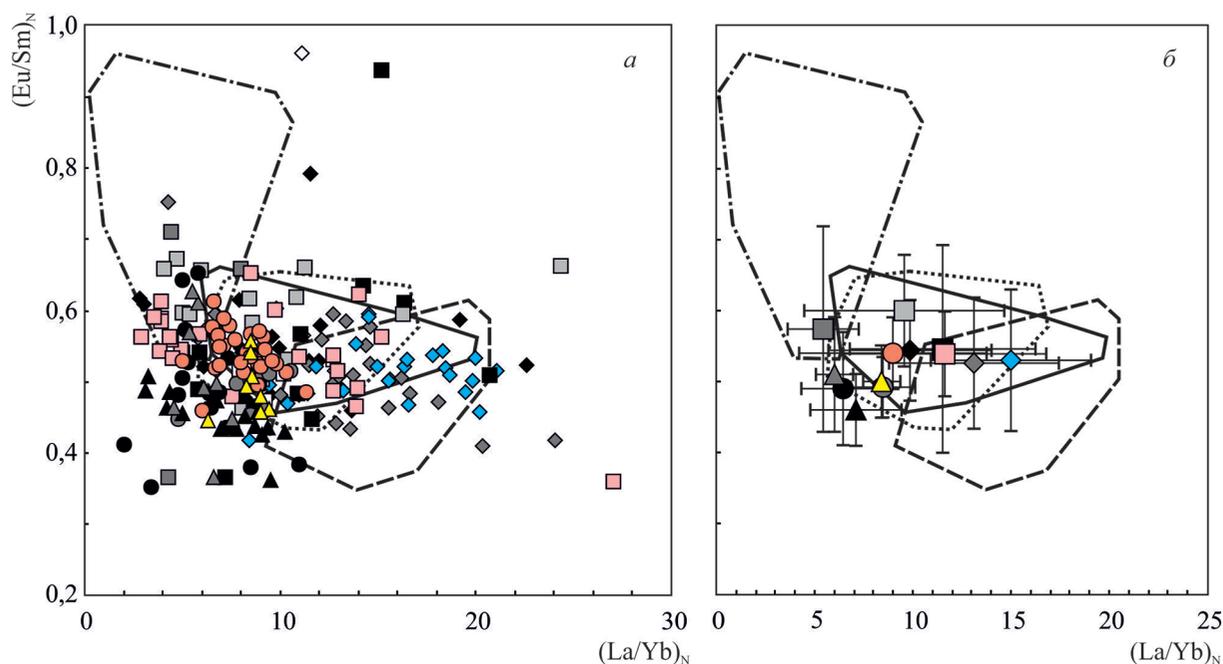


Рис. 3. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$; усл.обознач.см. рис. 1 и 2

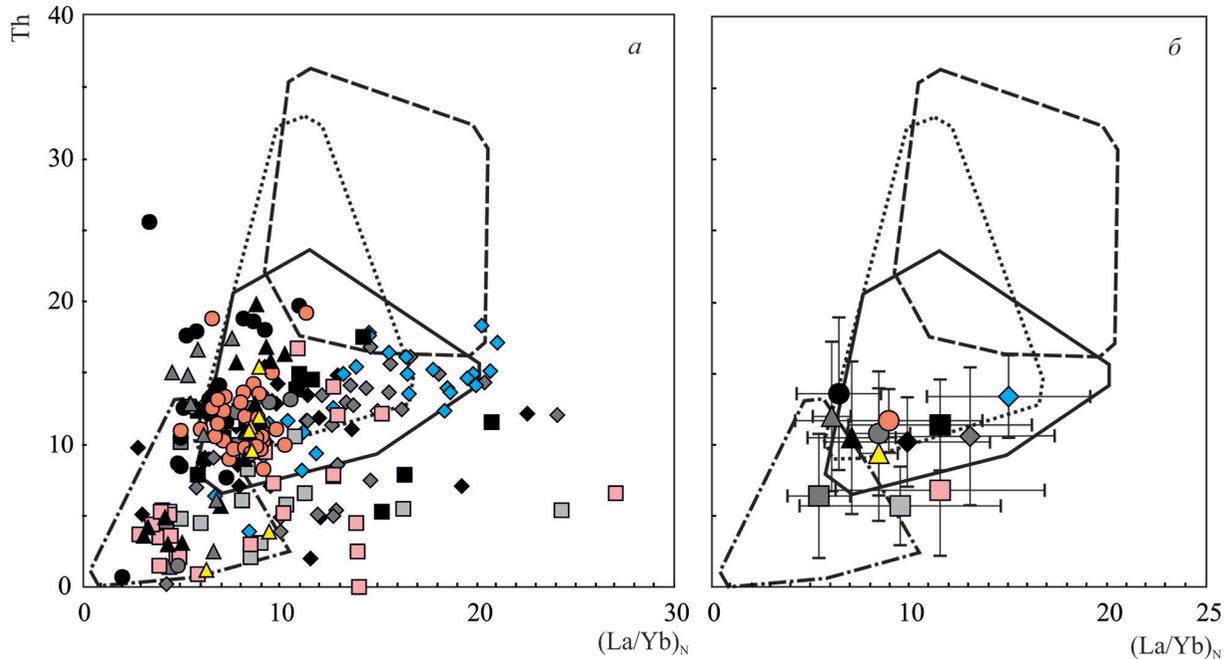


Рис. 4. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава глинистых пород рифея Южного Урала на диаграмме $(La/Yb)_N$ –Th: усл. обознач. см. рис. 1 и 2

фея Южного Урала сопоставимо с тем, что мы уже видели на двух других диаграммах (рис. 4, а). Примерно четверть их расположена в области составов донных отложений приустьевых частей рек категории 4. Это точки глинистых сланцев айской, саткинской и бакальской свит нижнего рифея, зигальгинской, зигазино-комаровской и авзянской свит среднего рифея, а также всех рассматриваемых нами в настоящей работе свит верхнего рифея. Остальные точки сосредоточены преимущественно в зоне перекрытия областей 1 и 2, как и на двух других диаграммах, их геохимические характеристики сопоставимы с характеристиками донных отложений рек, роль в питании которых осадочных образований либо велика, либо преобладает/доминирует.

Описанная выше ситуация более наглядно выражена на данной диаграмме при рассмотрении положения средних для свит и подсвит точек состава глинистых пород рифея (рис. 4, б). Так, в области 4 присутствует только средняя точка тонкозернистых обломочных пород зигальгинской свиты. В области 3 нет ни одной средней точки, тогда как в зоне перекрытия областей 1 и 2 можно видеть средние точки глинистых пород айской, саткинской и бакальской свит бурзяния, машакской свиты юрматиния, а также трёх подсвит зильмердакской свиты, инзерской и укской свит. Точки зигазино-комаровской и авзянской свит расположены на данном графике вне каких-либо областей, однако первая, как и точ-

ки тонкозернистых обломочных пород миньярской свиты, тяготеет к границе области 4.

Выводы

Таким образом, если в самом первом приближении основываться на таких положениях: 1) области составов донных отложений различных категорий современных рек на диаграммах $(La/Yb)_N$ – Eu/Eu^* , $(La/Yb)_N$ – $(Eu/Sm)_N$ и $(La/Yb)_N$ –Th можно «спроецировать» в геологическое прошлое; 2) распределение РЗЭ и Th в древних отложениях прибрежно-континентальных, прибрежно- и мелководно-морских обстановок не имело кардинальных отличий от того, что наблюдается на современном этапе; 3) мы можем абстрагироваться от вероятной эволюции геохимических характеристик различных комплексов пород, слагавших водосборы в дорифее, рифее и фанерозое (хотя известно, что в истории Земли имело место изменение соотношений между различными комплексами пород на водосборах) [13 и др.].

Здесь, однако, надо помнить, что, например, среднее содержание Th в раннепротерозойских, палеозойских и мезо-кайнозойских фельзитах составляет, по широко известным данным К. Condie начала 1990-х гг., соответственно 8, 9 и 10,2 г/т, а в средних андезитах тех же возрастных интервалов — 3,7, 4,3 и 4,0 г/т, т. е. если и меняется, то незначительно), так как области состава донных



осадков рек разных категорий на указанных диаграммах имеют эмпирический характер, и добавление нескольких новых проб к тем 50, что исследовали авторы публикации [15], может тем или иным образом несколько изменить их очертания, то можно предполагать, что геохимические характеристики подавляющей части тонкозернистых обломочных/глинистых пород типового разреза рифея Башкирского мегантиклинория указывают на формирование их в связи с функционированием либо крупных речных систем (реки типа категории 1, по классификации [15]), на водосборных территориях которых присутствовали разные, в том числе и осадочные комплексы пород, либо речных систем типа

рек категории 2, во взвешенном материале которых преобладали продукты эрозии осадочных образований.

Следы былого распространения этих дорифейских и рифейских осадочных или осадочно-метаморфических образований на востоке ВЕП в настоящее время отсутствуют (за исключением ряда крупных авлакогенов кристаллические породы архея и нижнего протерозоя перекрыты здесь осадочными последовательностями венда и среднего палеозоя), но то, что они существовали и играли заметную роль в формировании осадочного выполаживания седиментационных бассейнов на восточке платформы, сомнений не вызывает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Г.Н. О направлении и источниках сноса обломочного материала в отложениях верхнерифейской зильмердакской свиты Южного Урала // Докл. АН СССР. 1964. Т. 158. № 5. С. 1099–1101.
2. Астахов А.С., Семилетов И.П., Саттарова В.В., Ши С., Ху Л., Аксентов К.И., Василенко Ю.П., Иванов М.В. Редкоземельные элементы донных осадков восточно-арктических морей России как индикаторы терригенного сноса // Докл. АН. 2018. Т. 482. № 4. С. 451–455.
3. Гарань М.И. Верхний докембрий (рифей): Стратиграфия // Геология СССР. М.: Недра. 1969. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1. Геологическое описание. С. 149–200.
4. Геология и палеогеография западного склона Урала / Отв. ред. Ю.Д. Смирнов. Л.: Недра, 1977. 199 с.
5. Маслов А.В. Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 1988. 133 с.
6. Маслов А.В. Седиментационные бассейны рифея западного склона Южного Урала (фашии, литолого-фашиальные комплексы, палеогеография, особенности эволюции). Диссертация на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук. Т. I. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. 496 с.
7. Маслов А.В., Ерохин Е.В., Гердес А., Ронкин Ю.Л., Иванов К.С. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-изотопного датирования обломочных цирконов из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал) // Докл. АН. 2018. Т. 482. № 5. С. 558–561.
8. Маслов А.В., Козина Н.В., Ключевиткин А.А., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Ковач В.П., Шевченко В.П., Ронкин Ю.Л. Распределение редкоземельных элементов и систематика $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в современных донных осадках Каспийского моря // Докл. АН. 2014. Т. 459. № 2. С. 203–207.
9. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351 с.
10. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Тонкозернистые алюмосиликокластические породы рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики // Геохимия. 2008. № 11. С. 1187–1215.
11. Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. 2019. Т. 64. № 1. С. 59–78.
12. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.
13. Холодов В.Н. Роль геохимии осадочного процесса в развитии литологии // Проблемы литологии, геохимии и осадочного рудогенеза. М.: Наука, 2001. С. 54–92.
14. Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // Chem. Geol. 2007. P. 211–232.
15. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bernell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17–38.
16. Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Rare earth elements in river waters // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. V. 89. P. 35–47.
17. Kamber B.S., Greig A., Collerson R.D. A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. V. 69. P. 1041–1058.
18. Viers J., Dupre B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database // Sci. Total Environ. 2009. V. 407. P. 853–868.

REFERENCES

1. Akimova G.N. On the direction and sources of demolition of clastic material in sediments of the Upper Riphean Zilmerdak Formation of the Southern Urals. *Dokl. USSR Academy of Sci.*, 1964, v. 158, no. 5, pp. 1099–1101. (In Russian)
2. Astakhov A., Semiletov I., Sattarova V., Shi X., Hu L., Axentov K., Vasilenko Y., Ivanov M. Rare Earths Elements in the Bottom Sediments of East Siberian Arctic Shelf as Indicators of Terrigenous Input. *Dokl. Earth Sci.*, 2018, v. 482, no. 2, pp. 1324–1327.



3. Garan M.I. Upper Precambrian (Riphean): Stratigraphy. *Geology of the USSR. Moscow, Nedra Publ., 1969, v. 12. Perm, Sverdlovsk, Chelyabinsk and Kurgan regions. Part 1. Geological description*, pp. 149–200. (In Russian)
4. *Geology and paleogeography of the western slope of the Urals*. Ed. Yu.D. Smirnov. Leningrad, Nedra Publ., 1977, 199 p. (In Russian)
5. Maslov A.V. *Lithology of the Upper Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium*. Moscow, Nauka Publ., 1988, 133 p. (In Russian)
6. Maslov A.V. *Sedimentary basins of the Riphean of the western slope of the Southern Urals (facies, lithological-facies complexes, paleogeography, evolutionary features)*. The dissertation for the degree of doctor of geol.-min. sci., v. I. Yekaterinburg: IGG UB RAS Publ., 1997, 496 p. (In Russian)
7. Maslov A.V., Erokhin Yu.V., Gerdes A., Ronkin Yu. L., Ivanov K.S. First Results of U–Pb LA–ICP–MS Isotope Dating of Detrital Zircons from Arkose Sandstone of the Biryán Subformation of Zilmerdak Formation (Upper Riphean, South Urals). *Dokl. Earth Sci.*, 2018, v. 482, part 2, pp. 1275–1277.
8. Maslov A.V., Kozina N.V., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Filippov A.S., Kovach V.P., Shevchenko V.P., Ronkin Yu.L. Rare-earth element distribution and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr systematics in modern bottom sediments of the Caspian sea. *Dokl. Earth Sci.*, 2014, v. 459, part 1, pp. 1418–1422.
9. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. *Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimento- and lithogenesis, minerageny, geological monuments of nature)*. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2001, v. I, 351 p. (In Russian)
10. Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikova E.F., Turkina O.M., Ronkin Yu.L., Dmitrieva N.V., Gareev E.Z., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. Riphean Fine-Grained Aluminosilicate Clastic Rocks in the Southern Urals, Uchur–Maya Area, and the Yenisei Kryazh: Principal Litho-Geochemical Characteristics. *Geochem. Int.*, 2008, v. 46, no. 11, pp. 1117–1144.
11. Maslov A.V., Shevchenko V.P. REE-Th systematics of the suspended particulate matter and bottom sediments from the mouth zones of the world rivers of different categories/classes and some large Russian Arctic rivers. *Geochem. Int.*, 2019, v. 57, no. 1, pp. 56–73.
12. *Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology*. Ed. B.M. Keller, N.M. Chumakov. Moscow, Nauka Publ., 1983, 184 p. (In Russian)
13. Kholodov V.N. The role of sedimentary process geochemistry in the development of lithology. *Problems of lithology, geochemistry and sedimentary ore genesis*. Moscow, Nauka Publ., 2001, pp. 54–92. (In Russian)
14. Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt. *Chem. Geol.*, 2007, v. 237, no. 1–2, pp. 211–232.
15. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2015, v. 170, pp. 17–38.
16. Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Rare earth elements in river waters. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1988, v. 89, pp. 35–47.
17. Kamber B.S., Greig A., Collerson R.D. A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2005, v. 69, pp. 1041–1058.
18. Viers J., Dupre B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database. *Sci. Total Environ.*, 2009, v. 407, pp. 853–868

УДК 553.81+552.323.6+549.641(480)

ОКСИДНЫЕ МИНЕРАЛЫ КИМБЕРЛИТОВ КААВИ (ФИНЛЯНДИЯ)*

Н.С. АЗАРОВА¹, А.В. БОВКУН¹, В.К. ГАРАНИН², Д.А. ВАРЛАМОВ³, Х.Л. ХОНГ⁴

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119234, Россия
e-mail: nadiya-azarova@mail.ru, bovkun2004@mail.ru

²Минералогический музей имени А.Е.Ферсмана РАН
18, к. 2, Ленинский проспект, г. Москва 119071, Россия
e-mail: vgaranin@mail.ru

³ФГБУН Институт экспериментальной минералогии РАН
9, Лесная ул., Черноголовка, Московская область 1422432, Россия
e-mail: dima@iem.ac.ru

⁴The China University of Geosciences (Wuhan)
388, Лумолу ул., Ухань, Провинция Хубей 430074, Китай

Изучены минералогические и петрогеохимические особенности неопротерозойских кимберлитовых пород трубок Лахтоёки и Ниилонсуо кластера Каави (Каави-Куопио, Финляндия), выявлены отличия петрогеохимического состава, количественный и химический составы оксидных минералов глубинного (мантийного) и кимберлитового генезиса. Кимберлиты трубок относятся к умеренно-титанистым, но содержание TiO₂ в кимберлитах Ниилонсуо выше (2,11 мас. %), чем в кимберлитах из брекчии трубки Лахтоёки (1,07 мас. %). Кимберлиты трубки Ниилонсуо отличаются также более высокими концентрациями Fe₂O₃, Ca, P, K, Rb, V, Nb, Ba, Th, U, Ta и REE. В кимберлитовых брекчиях трубки Лахтоёки основным минералом-концентратором TiO₂ является магнезиальный ильменит (13,3–15,2 мас. % MgO; 0,5–4,4 мас. % Cr₂O₃), представлен макрокристами до 4 мм, в мелкозернистом матриксе пород присутствуют мелкие зёрна рутила, хромшпинелидов, Mn-ильменита, иногда титаномагнетита. В кимберлитах





трубки Ниилонсуо макрокристаллы магнезиального ильменита не обнаружены, главным минералом титана выступает перовскит, реже встречаются хромшпинелиды и титаномagnetит. Длительная кристаллизация сравнительно крупных (до 200 мкм) перовскитовых зёрен протекала, согласно оценкам с помощью Nb-Fe-перовскитового оксибарометра, в условиях широкого диапазона значений фугитивности кислорода (f_{O_2}) кимберлитового расплава (ΔNNO от -3,8 до 5,1). Хромшпинелиды из связующей массы кимберлитовых пород трубок различаются по составу, но обладают одинаковым специфическим характером зональности — обогащение Al и Mg краевых зон кристаллов, что, возможно, обусловлено растворением вкрапленников флогопита в поднимающемся кимберлитовом расплаве. Помимо оксидных минералов в связующей массе кимберлитов трубки Ниилонсуо широко распространён джерфшерит, состав которого для пород тела описан впервые. Совокупность особенностей оксидной минерализации указывает на неблагоприятные для сохранности алмаза условия в процессе транспортировки кимберлитовым расплавом.

Ключевые слова: Финляндия; Каави-Куопио; кимберлит; связующая масса; минералогия; перовскит; шпинелиды; ильменит; рутил; джерфшерит.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-36-49

OXIDE MINERALS OF KAAVI KIMBERLITES (FINLAND)

N.S. AZAROVA¹, A.V. BOVKUN¹, V.K. GARANIN², D.A. VARLAMOV³, H.L. HONG⁴

¹Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
e-mail: nadiya-azarova@mail.ru, bovkun2004@mail.ru

²Fersman Mineralogical Museum RAS
building 2, 18, Leninsky Prospect, Moscow 119071, Russia
e-mail: vgaranin@mail.ru,

³Institute of Experimental Mineralogy RAS
9, Lesnaya street, Chernogolovka 1422432, Moscow region, Russia
e-mail: dima@iem.ac.ru,

⁴The China University of Geosciences (Wuhan)
No. 388 Lumo Road, Wuhan 430074, Hubei, P.R. China

The mineralogical and petrogeochemical features of the Neoproterozoic kimberlite rocks of the Lahtojoki and Niilonsuo pipes of the Kaavi cluster (Kaavi-Kuopio, Finland) have been studied, differences in their petrogeochemical composition, quantitative and chemical composition of oxide minerals of deep (mantle) and kimberlite genesis have been revealed. The kimberlites of the pipes are moderately titanitic, but the TiO_2 content in the kimberlites of Niilonsuo is higher (2.11 wt.%) than in the kimberlites from the breccia of the Lahtojoki pipe (1.07 wt.%). The kimberlites of the Niilonsuo pipe also differ in higher concentrations of Fe_2O_3 , Ca, P, K, Rb, V, Nb, Ba, Th, U, Ta and REE. In the Lahtojoki kimberlite breccias the main TiO_2 concentrator mineral is magnesian ilmenite (13,3–15,2 wt.% MgO ; 0,5–4,4 wt.% Cr_2O_3), (macrocrysts up to 4 mm); the fine-grained matrix of rocks contains small grains of rutile, chromspinelides, Mn-ilmenite and sometimes titanomagnetite. Macrocrystals of magnesian ilmenite have been not found in the kimberlites of the Niilonsuo pipe, perovskite acts as the main mineral of titanium, and chromspinelids and titanomagnetite are less common. Long-term crystallization of relatively large (up to 200 μm) perovskite grains proceeded according to estimates using an Nb-Fe-perovskite oxybarometer under a wide range of oxygen fugacity (f_{O_2}) of the kimberlite melt (NNO from -3,8 to 5,1). Chromspinelids from the groundmass of kimberlite pipe rocks differ in composition, but have the same specific zonality — enrichment of Al and Mg in the edge zones of crystals, which is possibly due to the dissolution of phlogopite phenocrysts in the rising kimberlite melt. In addition to oxide minerals, djerfsherite is widely distributed in the groundmass of kimberlites of the Niilonsuo pipe, the composition of which for the rocks of the body has been described for the first time. The combination of features of oxide mineralization indicates unfavorable conditions for the preservation of diamonds during their transportation by kimberlite melt.

Keywords: Finland; Kaavi-Kuopio; kimberlites; mineralogy; perovskite; spinel; ilmenite; djerfsherite; rutile; groundmass.

Оксидные минералы (шпинелиды, ильменит, рутил и др.) в том или ином количестве присутствуют в виде макро- и микрозёрен в кимберлитах всех известных тел, встречаются в ксенолитах мантийных пород и во включениях в алмазах [5]. Некоторые из них (хромит, ильменит) входят в число важнейших индикаторных минералов кимберлитов, используемых при поисках месторождений алмаза шлихоминералогическим методом.

Макро- и мегазёрна этих минералов образуются в мантийных условиях и позволяют оценить глубину магматических очагов и особенности строения литосферной мантии.

В свою очередь оксидные минералы, кристаллизующиеся из кимберлитового расплава и возникающие при его взаимодействии с ранее образованными глубинными минералами, несут важную информацию о характере эволюции, динамике



подъёма кимберлитовых расплавов, изменении химизма и окислительной обстановки по мере их продвижения к поверхности, коррелирующую с данными о степени сохранности кристаллов алмаза в процессе транспортировки [5]. Размер зёрен таких оксидов, как правило, не превышает 100 мкм.

В работе приведены результаты исследования количественного соотношения, химического и фазового составов оксидных минералов и особенностей петрогеохимии кимберлитовых пород трубок Лахтоёки и Ниилонсуо, открытых в 1988–1989 гг. в Восточной Финляндии (поле Каави—Куопио) [19].

Геологическая позиция кимберлитов

Проявления кимберлитов и лампроитов известны в восточной и северной частях Финляндии в полях Каави—Куопио, Кухмо и Куусамо. Наиболее яркой отличительной чертой этих пород является

их докембрийский возраст, составляющий согласно определениям U-Pb методом по перовскиту от 1250 млн. лет (поле Кухмо) до 760 млн. лет (поле Куусамо) и 589–626 млн. лет (поле Каави—Куопио) [23; 24], тогда как подавляющее большинство известных кимберлитов мира имеют фанерозойский возраст.

Кимберлитовое поле Каави—Куопио расположено на юго-западной окраине Карельского кратона (рис. 1). Кимберлиты внедрились в архейский (3,5–2,6 млрд. лет) гнейсовый комплекс Карельского кратона и аллохтонные метаморфизованные осадочные породы (1,9–1,8 млрд. лет), надвинутые на кратон во время Фенноскандинавского орогенеза [19].

В настоящее время в пределах поля обнаружено около 20 дайкоподобных и трубчатых тел, сложенных кимберлитами I группы. Кимберлитовые тела образуют две группы (кластера): Каави и Куопио

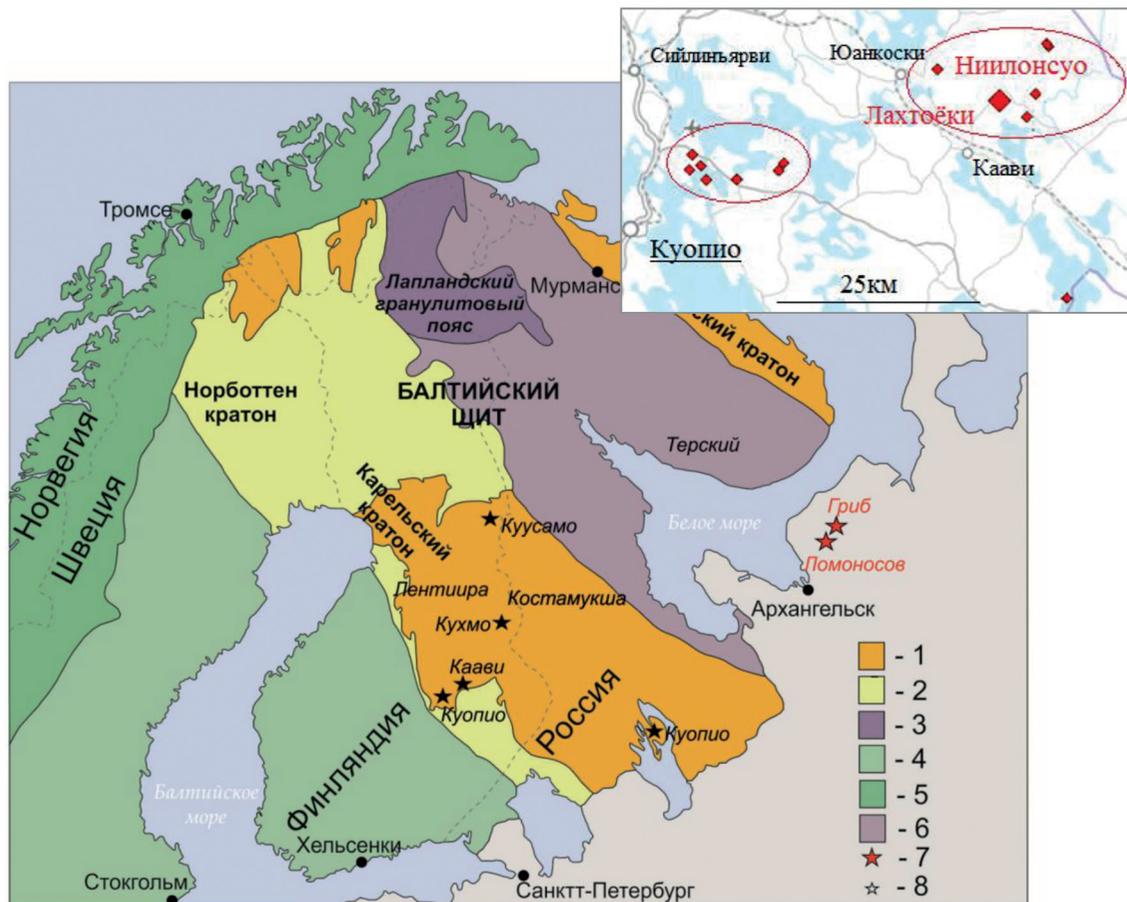


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Балтийского (Фенноскандийского) щита [30, с изменениями], на врезке — схема расположения кимберлитовых тел в пределах кластеров Каави (восточного) и Куопио (западного) [32]: 1 – изученные архейские (>2,7 млрд. лет) кратонные области, 2 – неизученные архейские (>2,7 млрд. лет) кратонные области, 3 – протерозойский лапландско-кольский ороген (1,9 млрд. лет), 4 – протерозойский Сфенофинский ороген (1,9 млрд. лет), 5 – фанерозойский ороген каледонидов (500–400 млн. лет), 6 – недифференцированный поздний протерозойский и фанерозойский покров, 7 – алмазные месторождения, 8 – другие кимберлитовые проявления



(рис. 1). Трубки Лахтоёки и Ниилонсуо принадлежат к расположенному в восточной части поля кластеру Каави.

Трубка Лахтоёки (тело № 7) характеризуется наиболее высокой алмазонасностью (от 0,21 до 0,45, в среднем 0,306 карат/т) среди известных тел Финляндии [26]. На уровне современного среза она имеет овальную форму и размер 200×100 м. Основной объём трубки выполнен вулканокластическими кимберлитами диатремовой фации (кимберлитовыми и автолитовыми кимберлитовыми брекчиями), сформированными в несколько этапов [26]. Основные индикаторные минералы кимберлитов — пикроильменит, гранат и хромдиопсид; хромит практически отсутствует. Данные о составе названных минералов, петрографических и петрогеохимических особенностях пород трубки приведены в [20; 21; 26; 27].

Трубка Ниилосуо (тело № 2) менее изучена. Известно, что она имеет сильно вытянутую форму (300×30 м), сложена преимущественно гипабиссальными, в меньшей степени — вулканокластическими кимберлитами, которые характеризуются низким содержанием граната [20] и алмаза (в среднем 0,0023 карат/т) [26].

Методы исследований

Химический и фазовый составы минералов изучены на растровом электронном микроскопе «Jeol JSM-6480 LV» с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350» в Лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ им. М.В. Ломоносова и на растровом электронном микроскопе «Tescan VEGA-II XMU» с энергодисперсионным спектрометром «INCA Energy 450» в ИЭМ РАН (г. Черноголовка), при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока 10 нА (в Черноголовке — 160—200 пА).

Определение содержания главных и редких элементов в породах выполнено в лаборатории Wuhan Spectrum Analysis Technology Co., Ltd. (Китайский Геологический Университет, г. Ухань). Концентрации главных компонентов определены методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре последовательного действия XRF-1800 производства компании SHIMADZU. Качество анализов контролировалось измерениями международного стандарта GBW07105. Концентрации редких элементов измерены методом ICP-MS на масс-спектрометре Agilent 7700e. Точность анали-

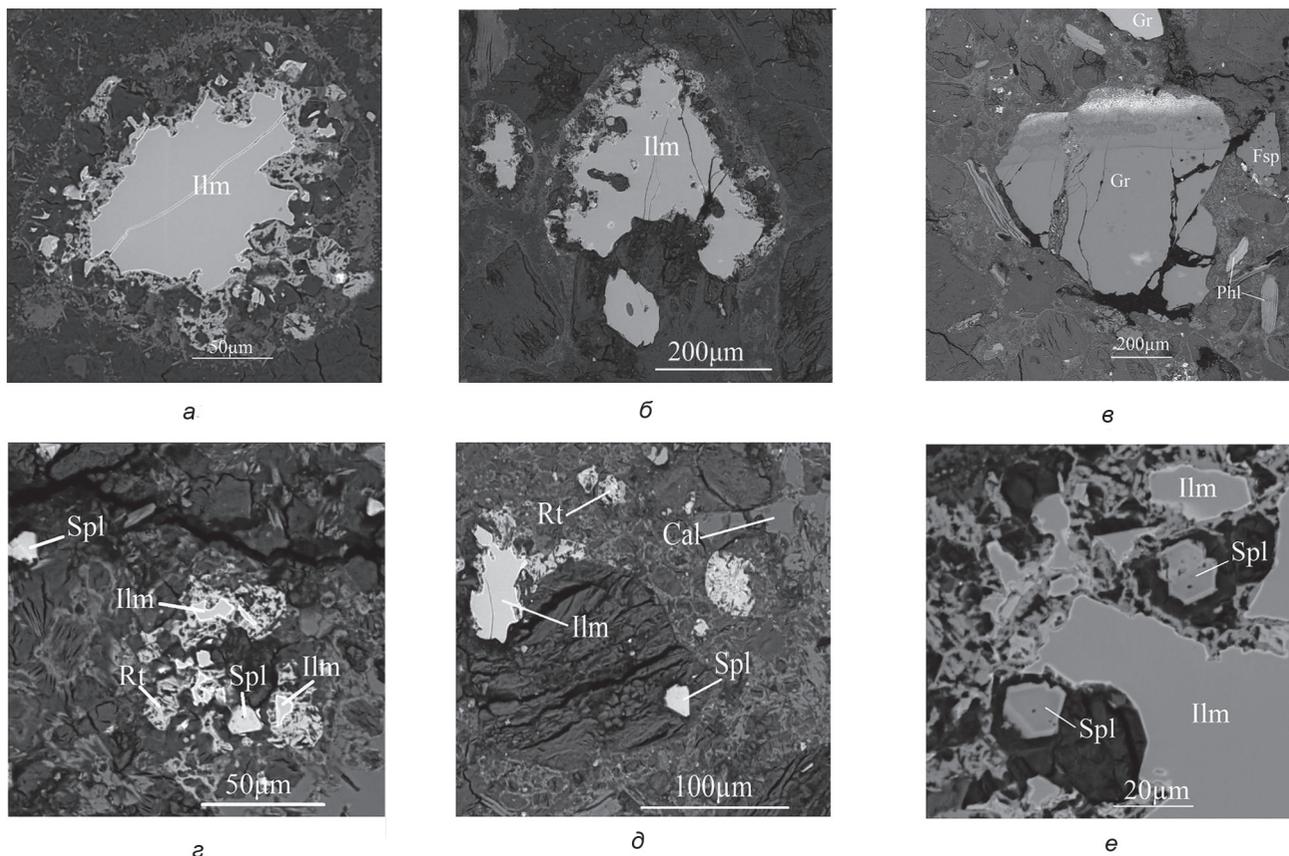


Рис. 2. Минералы кимберлитов трубки Лахтоёки: а, б — резорбированные зёрна магнезиального ильменита; в — обломок зерна пиропса с келифитовой каймой; г, д, е — оксидные минералы в связующей массе; изображения в обратно-рассеянных электронах



за составляла 4 отн.% для REE и 5–10 отн.% для других микроэлементов.

Результаты исследований

Характеристика образцов пород и их минеральный состав. Изучены образцы кимберлитовой брекчии из трубки Лахтоёки и массивного гипабиссального кимберлита из трубки Ниилонсуо.

Кимберлитовая брекчия из трубки Лахтоёки имеет светло-серую окраску, состоит из макрокристаллов размером до 4 мм, представленных зёрнами полностью замещённого серпентином и карбонатом оливина, флогопита, пикроильменита, иногда — граната (рис. 2), а также обломков вмещающих пород и попавших из них зёрен калиевого полевого шпата, редких (несколько процентов) ядерных и безъядерных пирокластов (автолитов), погружённых в мелкозернистый матрикс.

Массивный кимберлит с порфировой структурой из трубки Ниилонсуо более тёмный (серо-зелёный). Макрокристаллы в нём более многочисленные и представлены зёрнами оливина размером до 1 см, обладающими удлинённой и изометричной формами со сглаженными краями.

В крупных макрокристаллах присутствуют реликты незамещённого оливина (рис. 3, *a*). Более мелкие зёрна оливина нередко субидiomорфные и полностью серпентинизированы. Макрокристаллы флогопита и пикроильменита не обнаружены.

Мелкозернистая связующая масса изученных пород из обеих трубок состоит из переменных количеств серпентина, карбоната, флогопита и мелких зёрен рудных минералов, особенно многочисленных в кимберлитах трубки Ниилонсуо, реже — апатита. В связующей массе кимберлитов трубки Ниилонсуо присутствуют выделения минерала, сходного по составу с кирштейнитом $\text{CaFe}^{2+}(\text{SiO}_4)$, среди мелких рудных минералов широко распространён джерфишерит.

Оливин. Макрокристаллы неизменённого оливина, выявленные в гипабиссальных кимберлитах трубки Ниилонсуо, имеют сглаженную удлинённую форму и размер до 3,5 мм (рис. 3, *a*). Некоторые из них зональные: центральная часть имеет более железистый состав ($\text{Fo}_{85,8-86,5}$), чем обрастающая вокруг широкая (мощностью до 200 мкм) кайма ($\text{Fo}_{88,8-90,4}$) с повышенной концентрацией CaO (0,16–0,28 мас.%). Встречаются макрокристаллы оливина с серпентинизированными краями, не-

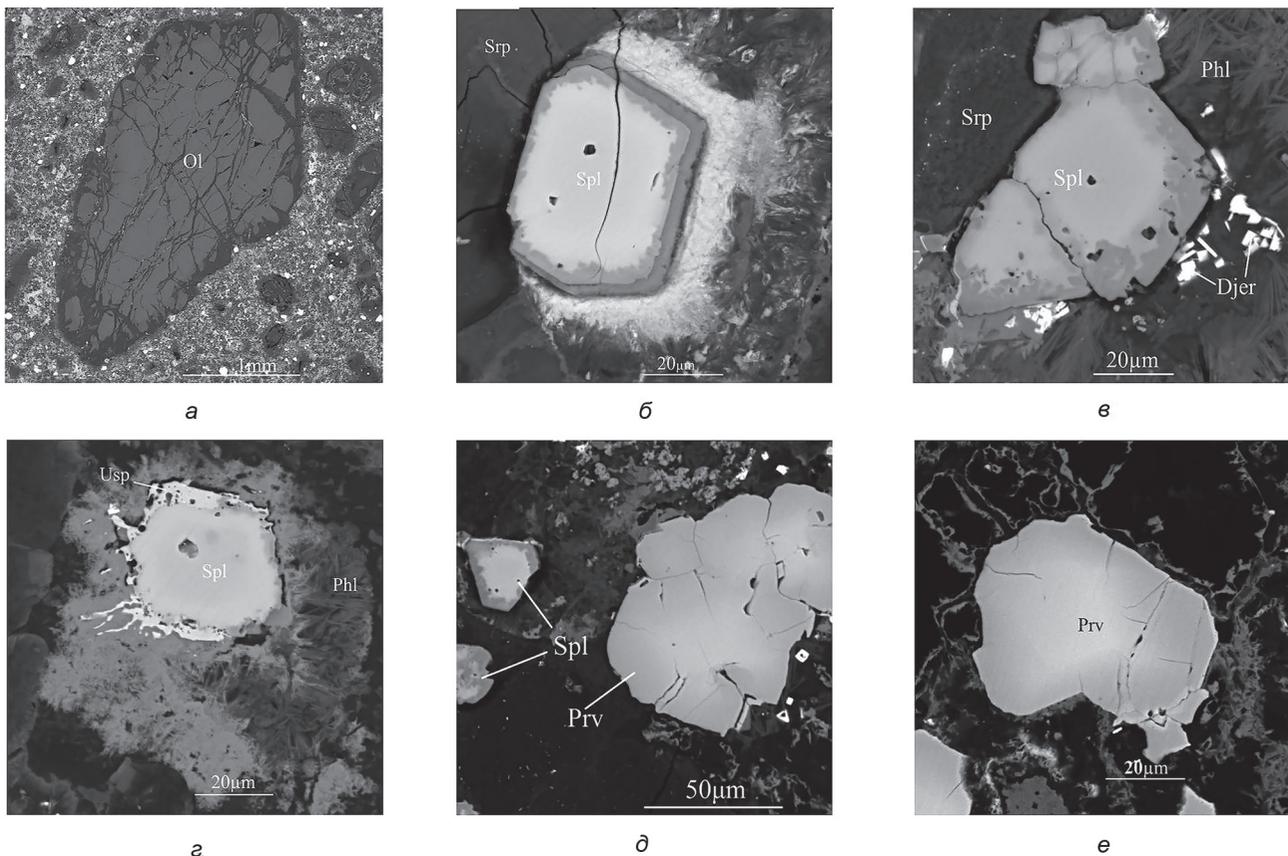


Рис. 3. Минералы кимберлитов трубки Ниилонсуо: *a* — зерно неизменённого оливина; *б*, *в*, *г* — зёрна хромшпинелидов неоднородного строения; *д*, *е* — зональные зёрна перовскита; изображения в обратно-рассеянных электронах



изменённые участки которых однородны и имеют наиболее магнезиальный состав ($Fe_{90,4-90,5}$).

Гранат, отмеченный в кимберлитах трубки Лахтоёки в виде обломков зёрен размером до 0,7 мм, представлен высокохромистым (9,4 мас. % Cr_2O_3 ; 5,7 мас. % CaO) пиропом лерцолитового парагенезиса, а также в различной степени обогащённым MnO (1,2–11 мас. %) альмандином (25,5–32,9 мас. % FeO) метаморфического генезиса из вмещающих пород. Обломок пироба имеет широкую (около 200 мкм) келифитовую кайму, состоящую из флогопита, хлорита и хромшпинелидов (рис. 2, б).

Флогопит в кимберлитах трубки Ниилонсуо образует мелкие (до 100 мкм) чешуйки в основной массе, в породах трубки Лахтоёки — крупные (до 4 мм) вкрапленники, чаще — пластинки длиной до 500 мкм. Последние характеризуются меньшей магнезиальностью ($Mg\#^1$ 41–55) и более высокими содержаниями TiO_2 (2,5–3,4 мас. %) и Al_2O_3

(15–18,4 мас. %) по сравнению с флогопитом из кимберлитов Ниилонсуо ($Mg\#$ 72–75; до 1,5 мас. % TiO_2 , 14–16,9 мас. % Al_2O_3). Флогопит келифитовой каймы вокруг пироба из кимберлитов трубки Лахтоёки, высокомагнезиальный ($Mg\#$ 81–84), обогащён Cr_2O_3 (8,8–9,4 мас. %) и содержит 0,5–1,4 мас. % TiO_2 .

Фтороапатит (F 4,5–4,9 мас. %) присутствует в матрице кимберлитовых пород трубки Лахтоёки в виде зёрен размером до 30 мкм, нередко обрастает выделениями рутила. Содержит 2,4–2,9 мас. % SrO, что типично для апатита из лампроитов (1–6 мас. % SrO) [22].

Химический и фазовый составы оксидных минералов. Оксидные минералы представлены макрокристаллами магнезиального ильменита в кимберлитах трубки Лахтоёки и многочисленными мелкими (обычно ≤ 100 мкм) зёрнами оксидных минералов кимберлитового генезиса в мелкозернистой связу-

Таблица 1

Представительные анализы (мас. %) оксидных минералов из кимберлитов трубок Лахтоёки и Ниилонсуо

Оксиды	Лахтоёки						Ниилонсуо			
	Ильменит		Хромшпинелиды				Оксиды	Перовскит		
	центр	кайма	центр	край	центр	кайма		центр	край	кайма
MgO	14,8	4,5	13,5	14,5	12,2	15,5	CaO	35,8	37,4	35,0
Al_2O_3	0,5	0,8	11,5	19,3	7,5	27,5	TiO_2	54,4	55,2	52,4
TiO_2	56,8	53,3	6,3	7,7	5,1	4,3	Na_2O	0,4	0,5	1,1
V_2O_5	0,8	0,6	0,5	0,4	0,0	0,0	La_2O_3	1,8	1,2	0,3
Cr_2O_3	2,6	3,2	40,6	28,8	52,1	25,7	Ce_2O_3	3,6	2,0	0,7
MnO	0,4	9,7	1,2	1,0	0,1	0,4	Nd_2O_3	0,5	0,7	0,2
FeO	24,3	28,3	17,9	19,2	19,2	16,3	SrO	0,1	0,3	3,4
Fe_2O_3	0,0	0,0	9,6	11,2	5,0	11,4	Fe_2O_3	1,3	1,2	2,4
ZnO	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	Nb_2O_5	0,9	1,2	0,9
Сумма	100,2	100,4	100,2	101,3	101,4	101,1	Al_2O_3	0,0	0,0	0,0
							Сумма	98,8	99,7	96,3*
Кристаллохимические коэффициенты										
Mg	0,51	0,17	0,64	0,66	0,56	0,68	Ca	0,90	0,93	0,87
Al	0,00	0,01	0,43	0,69	0,20	0,96	Ti	0,96	0,97	0,91
Ti	0,99	1,00	0,15	0,18	0,12	0,09	Na	0,02	0,02	0,05
Cr	0,01	0,02	1,02	0,69	1,41	0,60	La	0,02	0,01	0,00
Mn	0,01	0,21	0,03	0,02	0,01	0,01	Ce	0,03	0,02	0,01
Fe^{2+}	0,47	0,60	0,48	0,49	0,55	0,40	Nd	0,00	0,01	0,00
Fe^{3+}	0,00	0,00	0,23	0,26	0,15	0,25	Sr	0,00	0,00	0,05
V	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	Fe^{3+}	0,02	0,02	0,04
Zn	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	Nb	0,01	0,01	0,01
							Al	0,00	0,00	0,00

Примечание.*Низкая сумма в связи с малым размером каймы.

$$^1 Mg\# = 100 \times \frac{Mg}{Mg + Fe}$$



ющей массе кимберлитов обеих трубок. При этом распространённость, размер и количественные соотношения последних в кимберлитах изученных тел заметно различаются.

Так, в связующей массе гипабиссального кимберлита трубки Ниилоонсуо оксидные минералы более многочисленные (до 10 об. %) и в целом имеют более крупный размер (нередко до 100 мкм и более), чем в матрице кимберлитовой брекчии трубки Лахтоёки. Среди оксидных минералов связующей массы кимберлитов Ниилоонсуо резко преобладает перовскит, составляющий более 50% всех выделений оксидов, реже встречаются хромшпинелиды и титаномагнетит. Помимо оксидных минералов в связующей массе очень широко распространён джерфшерит.

В матрице кимберлитовой брекчии трубки Лахтоёки количество собственно кимберлитовых оксидных минералов примерно в три раза меньше, их размер обычно не превышает 25 мкм. Представлены они преимущественно рутилом, хромшпинелидами и марганцовистым ильменитом, в меньшей степени — титаномагнетитом (± титанит).

Ильменит. Образованные в глубинных (мантйных) условиях и вынесенные кимберлитовым расплавом к поверхности крупные (до 4 мм) зёрна магнезиального ильменита и их обломки, распространённые в кимберлитах трубки Лахтоёки, обычно сильно резорбированы (рис. 2, а, б). Состав большинства зёрен (табл. 1) характеризуется высокими содержаниями MgO (13,3–15,2 мас. %) и TiO₂ (55,3–57,3 мас. %), варьирующим количеством Cr₂O₃ (от 0,5 до 4,4 мас. %), низким содержанием Fe₂O₃ (до 3,1 мас. %) (рис. 4). Некоторые из них по соотношению Mg и Cr близки к макрокристаллами ильменита из кимберлитов алмазонной трубки им. В. Гриба (Архангельская провинция) (рис. 4, б). Реже встречаются зёрна с более низкими содержаниями MgO (8,6–10,3 мас. %), TiO₂ (51,7–52,9 мас. %), Cr₂O₃ (0,2–0,5 мас. %), обогащённые железом.

Вокруг резорбированных зёрен магнезиального ильменита часто развиты каймы Cr-Mg-содержащего марганцовистого ильменита (MgO 4,4–4,5 мас. %; Cr₂O₃ 2,4–3,2 мас. %; MnO 7,5–9,7 мас. %), иногда совместно с Nb-содержащим рутилом. Изредка встречаются выделения ильменита с незначительной примесью MgO (0,9–1,8 мас. %), обогащённые Fe₂O₃ (до 7,7 мас. %).

Хромшпинелиды и титаномагнетит. В матрице кимберлитовой брекчии трубки Лахтоёки хромшпинелиды слагают идиоморфные зёрна размером до 25 мкм (рис. 2, з, д, е), состав кото-

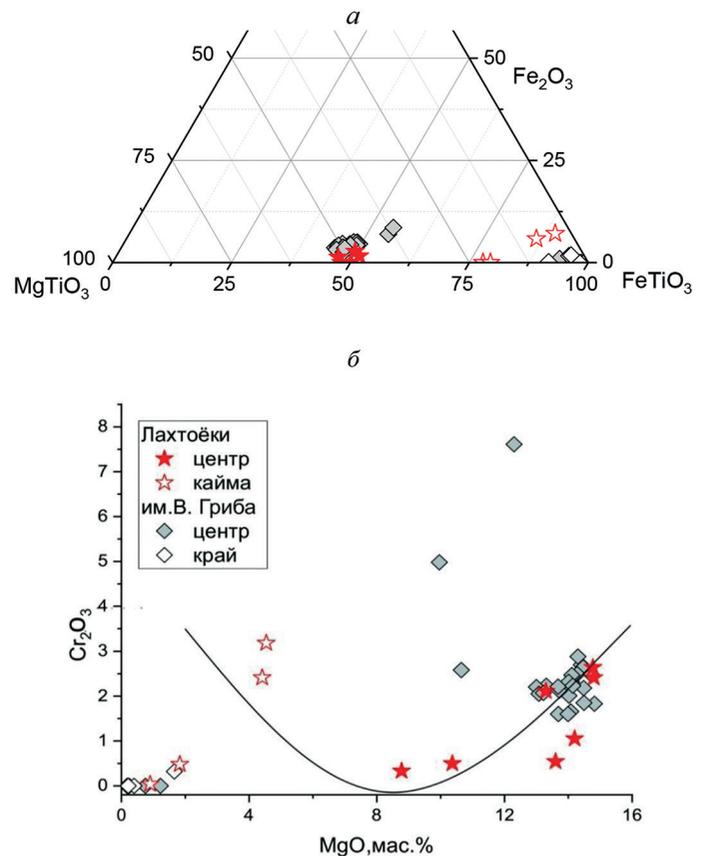


Рис. 4. Диаграммы составов в координатах основных минералов (а) и MgO-Cr₂O₃ (б) для ильменита из кимберлитов трубки Лахтоёки. Для сравнения нанесены точки составов макрокристов ильменита из кимберлитов трубки им. В.Гриба (Архангельская провинция)

рых характеризуется высоким содержанием MgO (12,7–15,5), широко варьирующими содержаниями Cr₂O₃ (37,9–46,6) и Al₂O₃ (11–22,9) (хромистость Cr^{#2} = 53–76) при 4,0–7,8 мас. % TiO₂. В некоторых зёрнах от центра к краю количество Cr₂O₃ снижается (от 39,7–40,6 до 28,8–36,7 мас. %), увеличиваются содержания Al₂O₃ (от 11,5–18,9 до 19,3–23,3 мас. %), MgO (от 13,3–13,7 до 14,5–19,7 мас. %), TiO₂ (от 4,66,7 до 5,37,7 мас. %) и Fe₂O₃ (до 12,6 мас. %). Изредка встречаются мелкие зёрна титаномагнетита (5,9 мас. % TiO₂), обогащённого Cr₂O₃ (13,6 мас. %), MgO (4,7 мас. %), Al₂O₃ (3 мас. %), MnO (1,7 мас. %).

В связующей массе кимберлитов трубки Ниилоонсуо хромшпинелиды образуют более крупные (иногда до 100 мкм) идиоморфные, неоднородные зёрна. Их края замещены шпинелидами, более тёмными на изображениях в отражённых электронах (рис. 3, б–д). Мощностъ изменённой зоны дости-

$$Cr\# = 100 \times \frac{Cr}{Cr + Al}$$

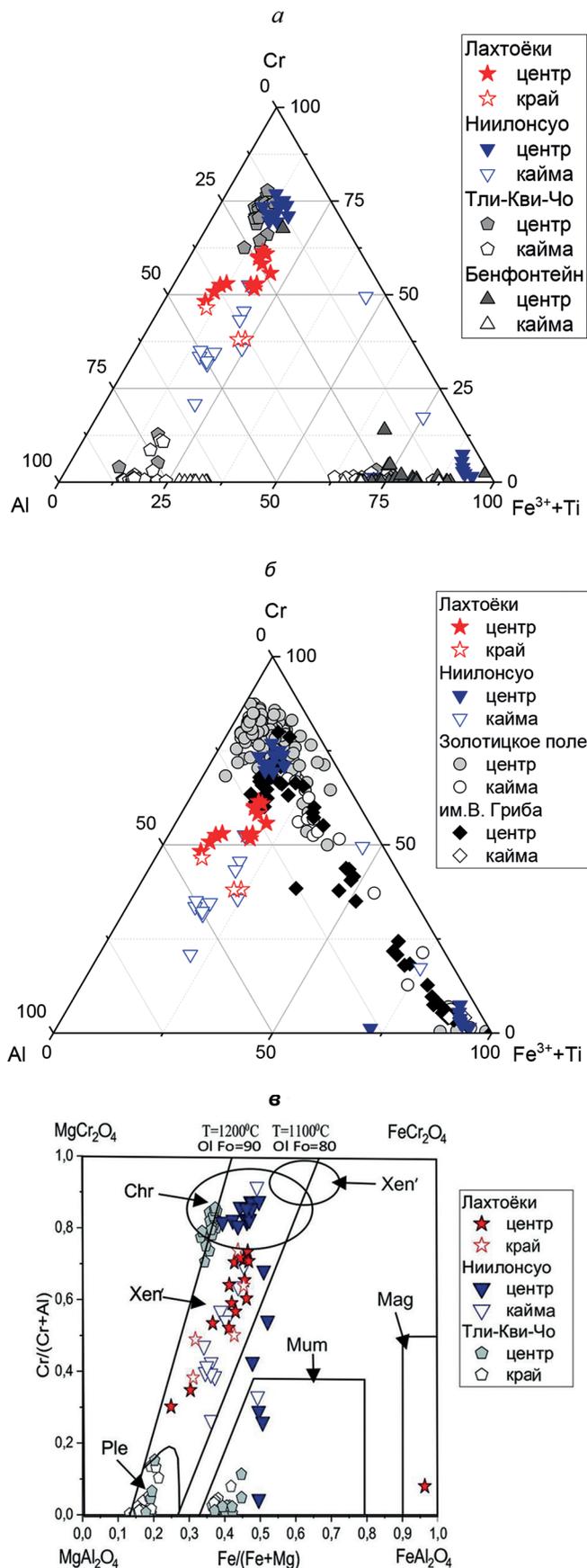


гает 10 мкм, её границы резкие, извилистые. Центры зёрен характеризуются высоким содержанием Cr_2O_3 (51,9–54,5 мас. %) при содержаниях (мас. %) Al_2O_3 5–8, TiO_2 4,5–5, MgO 11,4–12,4 мас. % и $\text{Cr}\# = 81,7\text{--}87,3$. Каймы обеднены Cr_2O_3 (до 16,7–25,7 мас. %), обогащены Al_2O_3 (до 27,4–31,2 мас. % Al_2O_3 ; $\text{Cr}\# = 26,4\text{--}69,4$), MgO (13,6–15,6 мас. %) и Fe_2O_3 . Иногда выделения хромшпинелидов окружены каймами титаномагнетита, встречающегося также в виде самостоятельных мелких (< 25 мкм) зёрен. От титаномагнетита из кимберлитов трубки Лахтоёки, он отличается высокими содержаниями TiO_2 (13–19,2 мас. %) и MgO (13,6–15 мас. %). Обычно содержит до 4,3 мас. % Cr_2O_3 (в каймах вокруг хромшпинелидов до 11), часто обогащён MnO (до 1,2 мас. %).

Наиболее ранние хромшпинелиды в кимберлитах трубки Ниилонсуо по составу приближаются к высокохромистым шпинелидам ранних стадий кристаллизации кимберлитов месторождения им. М.В. Ломоносова (Золотицкое поле, Архангельская провинция), не содержащих ильменит и близких к кимберлитам группы II Южной Африки (рис. 5, б). В свою очередь менее хромистые хромшпинелиды ранних стадий кристаллизации кимберлитов трубки Лахтоёки по составу ближе к таковым из богатых ильменитом кимберлитов трубки им. В. Гриба (группа I).

Для хромшпинелидов кимберлитовых пород обеих трубок куста Каави выявлен специфический характер зональности — обогащение Al и Mg краевых зон кристаллов. Хромшпинелиды с аналогичной зональностью ранее были отмечены в кимберлитах Финляндии (трубка № 1, поле Каави-Куопио) [27], Канады (трубка Тли-Кви-Чо, поле Лак де Грас) [16, 31], Южной Африки (силлы Бенфонтейн [10]; трубка De Beers [28]). Генезис этих хромшпинелидов не ясен, в качестве возможных причин образования называют большую скорость роста кристаллов при высокой температуре и вариации скорости диффузии хрома в расплаве на контакте с быстро растущим кристаллом [31], прекращение кристаллизации флогопита и обогащение расплава алюминием [28] и др.

Рис. 5. Диаграммы составов в коэффициентах основных элементах (а, б) и координатах $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})/\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ (в) для шпинелидов из связующей массы кимберлитовых пород трубок куста Каави, трубки Тли-Кви-Чо (а, б) [31] и алмазоносных тел Архангельской алмазоносной провинции [2]. Поля составов на рис.5, в [31]: Xen и Xen' — ксенокристаллы шпинели из перидотитов и метасоматизированных перидотитов соответственно, Chr — хромит, Mum — шпинелиды ряда магнезиальная ульвошпинель-магнетит, Ple — плеонаст (Al-шпинель), Mag — магнетит.





По нашему мнению, описанный характер изменения состава хромшпинелидов в изученных породах мог быть обусловлен растворением вкрапленников флогопита с высоким содержанием Mg и Al, оказавшихся нестабильными в поднимающемся кимберлитовом расплаве. Такой механизм возникновения обогащённых Al-шпинелидов предлагался для кимберлитов некоторых тел [12] и щелочных пикритов Северного Казахстана [7].

Вероятно, в кимберлитах трубки Ниилонсуо этот процесс был более интенсивным: сохранились лишь единичные макрокристы флогопита, а обогащённые Al шпинелиды слагают широкие каймы замещения. Высвободившийся при распаде флогопита калий, возможно, частично связывался в джерфишерите, которым обогащены кимберлиты данной трубки.

Перовскит, широко распространённый в связующей массе кимберлитов трубки Ниилонсуо, представлен крупными зёрнами размером до 100–200 мкм (рис. 3, д, е), часто образующими срастания с магнетиальным титаномагнетитом. Выделения перовскита, как правило, зональные. Центральные участки зёрен обогащены легкими редкоземельными элементами (до 5,9 мас. % REE_2O_3), Fe_2O_3 (до 1,7 мас. %), Na_2O (до 0,45 мас. %). Среди REE наиболее высокие концентрации характерны для церия (до 3,6 мас. % Ce_2O_3), более низкие — для лантана и неодима. К краю зёрен содержания REE_2O_3 , Na_2O и Nb_2O_5 постепенно уменьшаются (до 2,7, 0,12 и 0,2 мас. % соответственно), содержания CaO и SrO возрастают (до 38,0 и 0,3 мас. % соответственно) (рис. 6). Описанный характер зональности типичен для перовскита из классических кимберлитов [5].

Вокруг некоторых зональных зёрен наблюдаются тончайшие прерывистые каймы, сложенные перовскитом более поздней генерации, значительно отличающейся от ранних выделений этого минерала высокой концентрацией SrO (до 3,7 мас. %), при содержаниях Na_2O , REE_2O_3 , Fe_2O_3 и Nb_2O_5 до 1, 2, 3 и 0,9 мас. % соответственно. Агрегаты мельчайших зёрен такого Sr-содержащего перовскита с мелкими (несколько микрометров) вкраплениями позднего джерфишерита иногда полностью замещают крупные (до 300 мкм) зёрна, первоначальный состав которых установить невозможно.

Следует заметить, что содержание SrO в перовските кимберлитов обычно не превышает 0,6 мас. % [14]. Перовскит со схожим аномально высоким содержанием стронция описан в кимберлитах Лак де Грас (Канада) [13], где повышенные содержания этого элемента присущи перовскиту не только наиболее поздней (III), но и I генерации (до 3,4 и 2,2 мас. % соответственно) (рис. 6).

В кимберлитах трубки Лахтоёки перовскит не встречен.

Рутил участвует в формировании «ажурных» кайм вокруг крупных зёрен магнетиального ильменита и представлен мелкими (до 10 мкм) зёрнами, часто обрастающими Sr-содержащим апатитом, в связующей массе кимберлитов трубки Лахтоёки (рис. 2, з, д). Содержит примеси Nb_2O_5 (1,6–3 мас. %) и FeO (1,3–1,8 мас. %).

Вариации состава джерфишерита

Кроме оксидных минералов, в связующей массе кимберлитов трубки Ниилонсуо широко распространены скопления мелких (< 10 мкм)

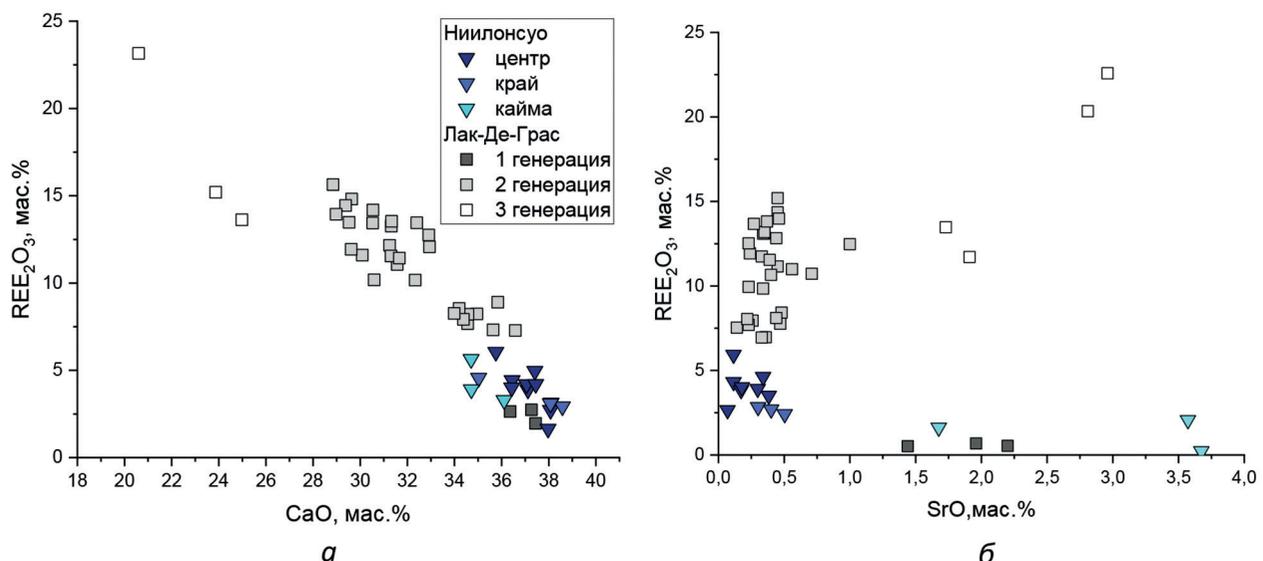


Рис. 6. Диаграммы составов для перовскита из кимберлитов трубки Ниилонсуо и поля Лак де Грас (Канада) [14]

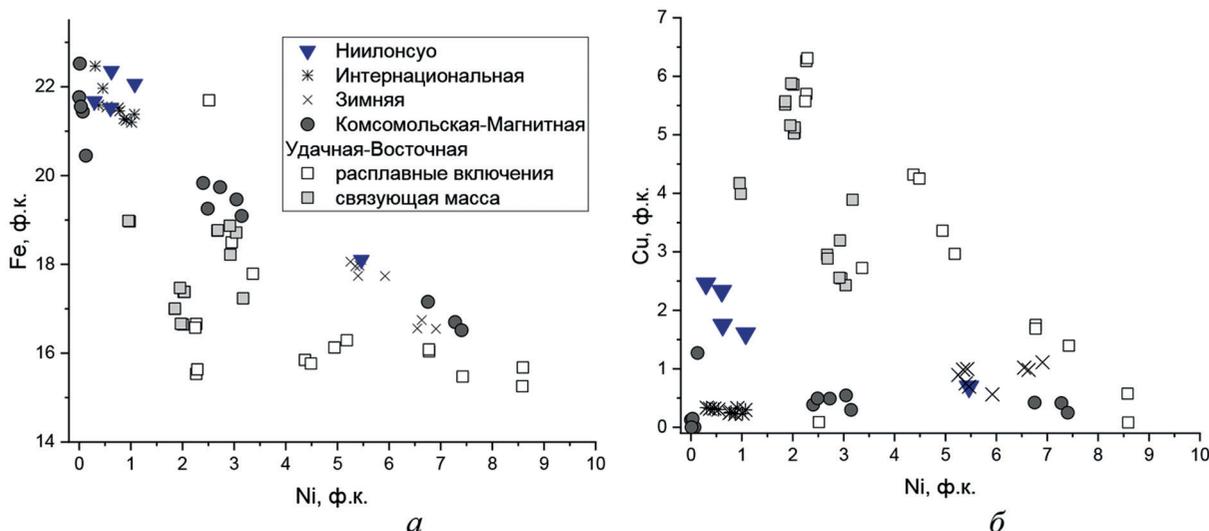


Рис 7. Диаграммы составов для джерфишерита из связующей массы кимберлитов трубки Ниилонсуо и кимберлитов Якутии (для трубок Удачная-Восточная, по [29], Интернациональная [8], Комсомольская-Магнитная и Зимняя [1])

идиоморфных, иногда скелетных зёрен калиевого хлорсодержащего сульфида — джерфишерита $K_6Na(Fe,Ni,Cu)_{24}S_{26}Cl$ (рис. 3). Химический состав джерфишерита для кимберлитов трубки Ниилонсуо описан впервые. Минерал характеризуется высокими содержаниями железа (44,3—48,2 мас. %) и меди (3,9—5,8 мас. %), низкими — никеля (0,6—2,4 мас. %), при незначительно варьирующих количествах К (9—9,3 мас. %) и Cl (1,2—1,4 мас. %). Схожее соотношение Fe и Ni наблюдается для К-Cl-сульфидов из связующей массы массивных гипабиссальных кимберлитов некоторых тел Якутии: трубки Интернациональная [8] и Комсомольская-Магнитная [1] (рис. 7, а), в последних минерал содержит меньше Cu (< 1,5 мас. %) (рис. 7, б).

Появление джерфишерита в кимберлитах может происходить путём кристаллизации из обогащённого Cl кимберлитового расплава в приповерхностных условиях при $T < 650^\circ C$ [9] или при постмагматических процессах за счёт Cl из соленосных отложений и рассолов вмещающих пород [18].

Петрохимическая и геохимическая характеристика пород

Составы изученных образцов кимберлитов представлены в табл. 2. Результаты исследования петрохимического состава показали, что кимберлиты обеих трубок можно отнести к умеренно-титанистому типу (1,1—2,5 мас. % TiO_2), по классификации [4], при этом среднее содержание TiO_2 в кимберлитах Ниилонсуо вдвое выше (2,11 мас. %), чем в кимберлитах трубки Лахтоёки (1,07 мас. %). Кроме того, кимберлиты трубки Ниилонсуо за-

Таблица 2

Содержание основных (мас. %) и редких (ppm) элементов в кимберлитах куста Каави

Компонент	Лахтоёки	Ниилонсуо
SiO_2	48,30	33,96
TiO_2	1,07	2,11
Al_2O_3	6,88	5,63
$Fe_2O_3^*$	7,39	11,42
MnO	0,12	0,21
MgO	22,83	22,22
CaO	4,00	11,64
Na_2O	0,56	0,13
K_2O	1,08	1,74
P_2O_5	0,12	0,40
П.п.п.	6,91	9,65
Сумма	99,25	99,12
Li	39,5	9,14
Be	1,45	2,23
Sc	8,70	21,2
V	91,7	252
Cr	840	1112
Co	63,3	71,4
Ni	789	608
Cu	55,3	209
Zn	58,9	138
Ga	9,23	10,7
Rb	36,9	109
Sr	270	625
Y	11,3	17,7
Zr	80,6	117



Nb	73,6	240
Sn	0,92	1,33
Cs	0,92	1,23
Ba	367	1341
La	39,6	153
Ce	68,5	259
Pr	7,36	28,1
Nd	24,0	85,2
Sm	3,50	10,5
Eu	0,86	2,65
Gd	2,71	6,94
Tb	0,35	0,78
Dy	1,95	3,67
Ho	0,38	0,63
Er	1,15	1,75
Tm	0,16	0,21
Yb	1,08	1,33
Lu	0,15	0,19
Hf	2,10	3,04
Ta	5,65	13,8
Tl	0,20	0,39
Pb	3,49	19,6
Th	6,57	22,7
U	1,81	4,71
La/Yb	36,66	115,08
REE	151,7	554,2

Примечание.*Суммарное железо.

метно отличаются от пород трубки Лахтоёки более высокими содержаниями Fe_2O_3 , CaO , K_2O и P_2O_5 (табл. 2).

В свою очередь характерная черта петрохимии кимберлитов трубки Лахтоёки — высокое содержание SiO_2 , обусловленное значительной степенью контаминации брекчии коровым материалом и интенсивным проработкой вторичными процессами, что подтверждается повышенными содержаниями Al_2O_3 и Na_2O . Коэффициент контаминации Клемента [15], рассчитанный для кимберлитов трубки Лахтоёки, равен 2,23, для трубки Ниилонсуо — 1,54.

Установлено, что гипабиссальные кимберлиты трубки Ниилонсуо характеризуются более высокими концентрациями редкоземельных элементов (ΣREE 554,2 ppm), чем кимберлитовые брекчии трубки Лахтоёки (ΣREE 151,7 ppm), при этом значительно доминируют элементы цериевой подгруппы (La/Sm 11,31—14,57; Gd/Yb 2,51—5,21) (табл. 2, рис. 8). Кроме того, кимберлитам трубки Ниилонсуо присуще повышенное содержание

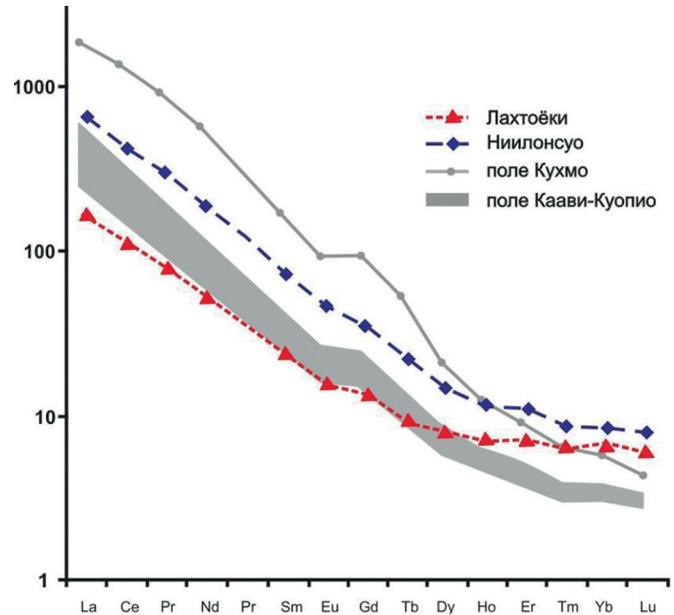


Рис. 8. Нормированное к хондриту распределение редкоземельных элементов в кимберлитах трубок Лахтоёки и Ниилонсуо; данные для пород полей Каави-Куопио и Кухмо, по [27]

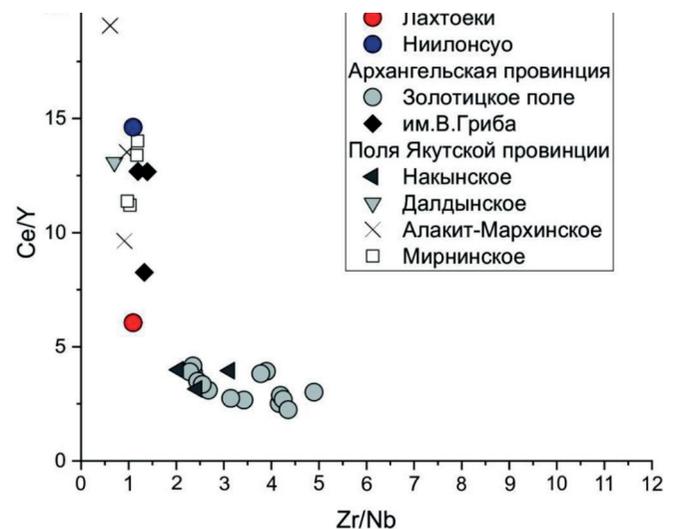


Рис. 9. Диаграмма в координатах $Ce/Y-Zr/Nb$ для кимберлитовых пород трубок Лахтоёки и Ниилонсуо (Финляндия) и различных полей Якутской и Архангельской провинций [2; 6]

крупнокатионных литофильных элементов (K, Rb, V, Nb, Ba, Th, U, Ta) (табл. 1), что может быть обусловлено процессом метасоматического обогащения пород под воздействием флюида/расплава.

Породы обеих трубок обладают низким значением отношения Zr/Nb (0,49—1,09) (рис. 9), что типично для кимберлитов I группы Южной Африки. Вместе с тем в отличие от последних, содержащих 90—125 ppm La и 140—220 ppm Ce [22], кимберлиты трубки Лахтоёки обеднены, а ким-



берлиты трубки Ниилонсуо, наоборот, обогащены легкими редкоземельными элементами (табл. 2).

Ранее отмечалось [27], что по минеральному составу кимберлиты комплекса Каави-Куопио близки к кимберлитам группы I Южной Африки, но по геохимии и изотопному составу они ближе к кимберлитам Коиду в Западной Африке. Изотопный состав кимберлитов Каави-Куопио ($\epsilon_{Sr} = -6,9+1,0$ и $\epsilon_{Nd} = 0+1,3$) позволяет предполагать в качестве источника магм смесь источников типа южноафриканских кимберлитов группы I и литосферной мантии Карельского кратона [4].

Заклучение

В результате выполненных исследований для трубок Лахтоёки и Ниилонсуо выявлены различия в петрохимии и геохимии кимберлитов, количественном соотношении и химическом составе оксидных минералов глубинного (мантийного) и собственно кимберлитового генезиса.

В соответствии с классификацией О.А. Богатикова и др. [4], кимберлиты обеих трубок можно отнести к одному петрогеохимическому типу (умеренно-титанистому). При этом в гипабиссальных кимберлитах трубки Ниилонсуо содержания TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5 , а также редкоземельных и крупнокатионных литофильных (K, Rb, V, Nb, Ba, Th, U, Ta) элементов выше, чем в кимберлитовых брекчиях трубки Лахтоёки (табл. 2). От промышленно-алмазоносных кимберлитов умеренно-титанистого типа, представленных в пределах Восточно-Европейской платформы палеозойскими кимберлитами месторождения имени В. Гриба, содержащими 0,97—1,4 мас.% TiO_2 и 31,8—36,4 мас.% MgO [4], породы изученных тел Финляндии отличаются более низким содержанием магния (22,2—22,8 мас.% MgO), более высокими концентрациями REE, Nb, Ta и Th.

Установлено, что в кимберлитах трубки Лахтоёки, обладающих повышенной алмазоносностью по сравнению с кимберлитами других тел Финляндии, основной минерал-концентратор TiO_2 — магнезиальный ильменит, образованный в глубинных (мантийных) условиях и вынесенный кимберлитовым расплавом к поверхности в виде макрокристаллов. В убогалмазоносных кимберлитах трубки Ниилонсуо макрокристаллы магнезиального ильменита не обнаружены, главным минералом титана выступает перовскит, кристаллизовавшийся из кимберлитового расплава. Перовскит является и основным концентратором редкоземельных элементов, повышенное содержа-

ние которых присуще кимберлитам данного тела. Ранее отмечалось, что высокое содержание перовскита в кимберлитах характерно преимущественно для низко- и неалмазоносных тел [3].

Основные вариации состава перовскита из кимберлитов трубки Ниилонсуо связаны с гетеровалентным изоморфизмом по схеме $Ca^{2+} + Ca^{2+} = Ce^{3+} + Na^+$, в меньшей степени $Ca^{2+} + Ti^{4+} = Na^+ + Nb^5$. Высокое содержание Sr (до 3,7 мас. %) в поздней генерации перовскита указывает на кристаллизацию этого минерала до образования первичного апатита, концентрирующего стронций в большинстве кимберлитов других провинций.

Сравнительно крупный размер зёрен этого минерала в изученных породах указывает на длительность процесса его кристаллизации, протекавшей, согласно расчетам по Nb-Fe-перовскитовому оксидометру [11], при широком диапазоне значений фугитивности кислорода, соответствующей ΔNNO от -3,8 до 5,1 (от -3,8 до 0,7 и от -1,5 до 0,8 для центров и краев зёрен соответственно; до 5,1 для узкой внешней каймы). Отметим, что перовскит кимберлитов Якутии с повышенной алмазоносностью (трубок Айхал, Удачная, Юбилейная и Зарница) формировался при значительно меньших значениях этого параметра (в среднем около -3,0) [23]. Известно, что повышенный окислительный потенциал в кимберлитовом расплаве негативно влияет на сохранность алмаза [5; 17].

Наряду с перовскитом в связующей массе кимберлитов трубки Ниилонсуо широко развиты высокотитанистые шпинелиды, тогда как в кимберлитах трубки Лахтоёки высокотитанистые минералы собственно кимберлитового генезиса представлены рутилом и марганцовистым ильменитом, образующимися на поздних стадиях кристаллизации расплава.

Тренды изменения состава хромшпинелидов свидетельствуют о продолжительности глубинного этапа их кристаллизации при высоких температурах. Особенно ярко этот процесс проявлен в кимберлитах трубки Ниилонсуо, что является дополнительным неблагоприятным для сохранности алмаза фактором.

Ещё одной отличительной чертой кимберлитов трубки Ниилонсуо является широкая распространённость джерфшерита, состав которого для данного тела описан впервые.

Петро- и геохимические особенности изученных пород согласуются с результатами исследования минерального состава и определяются не только глубинными источниками, но и структурно-текстурными особенностями и фациальной принадлежностью кимберлитовых пород.



ЛИТЕРАТУРА

1. Азарова Н.С., Бовкун А.В., Варламов Д.А. Джерфишерит из кимберлитов Верхне-Мунского поля (Якутия) // Сборник XXIII Всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа» 2017, посвященной 120-летию со дня рождения А.Г. Бетехтина. Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2017. С. 14–15.
2. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова, М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
3. Бовкун А.В. Минералогия оксидов из связующей массы кимберлитов Якутии (генетические и прикладные аспекты). Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М., 2000, 22 с.
4. Богатиков О.А., Кононова В.А., Носова А.А., Каргин А.В. Полигенные источники кимберлитов, составы магм и алмазоносность (на примере Восточно-Европейской и Сибирской платформ) // Петрология. 2009. Том 17. № 6. С. 651–671.
5. Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В., Ротман А.Я., Серов И.В. Микроструктурные оксиды из кимберлитов России. М.: ГЕОС, 2009. 489 с.
6. Кимберлиты и некимберлитовая алмазоносность изверженных и метаморфических пород: метод. руководство. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2010. с. 448.
7. Спиридонов Э.М., Дашевская Д.М. Хромшпинелиды и ассоциирующие с ними минералы раннегеосинклинальных ультраосновных вулканитов Северного Казахстана // Новые данные о минералах М.: Наука, 1988. В. 35. С. 161–182.
8. Шарыгин В.В. Калиевый сульфид в кимберлитах трубки Интернациональная (Якутия) // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: Материалы Всероссийского совещания (18–23 сентября 2006 г.). Миасс, 2006, С. 304–307.
9. Шарыгин И.С., Головин А.В., Похиленко Н.П. Джерфишерит в ксенолитах деформированных периодотитов трубки Удачная-Восточная (Якутия): проблемы происхождения и связь с кимберлитовым магматизмом // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 3. С. 321–340.
10. Abersteiner A., Kamenetsky V.S., Goemann K., Giuliani A. et al. Composition and emplacement of the Benfontein kimberlite sill complex (Kimberley, South Africa): Textural, petrographic and melt inclusion constraints // Lithos. 2019. N. 324–325. P. 297–314.
11. Bellis A., Canil D. Ferric iron in CaTiO₃ perovskite as an oxygen barometer for kimberlitic magmas I: experimental calibration // Journal of Petrology. 2007. N. 18. P. 219–230.
12. Voctur N.Z., Boyd F.R. Oxide minerals in a layered kimberlite-carbonate sill from Benfontein, South Africa // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1981. Vol. 76. Issue 3. P. 253–259.
13. Doyle B.J., Kivi K. and Scott Smith B.H. The Tli Kwi Cho. (Do27 and Do18) Diamondiferous kimberlite complex, Northwest Territories, Canada // In: Gurney J.J., Gurney J.L., Pascoe, M.D. & Richardson, S.H. (eds) The J.B. Dawson Volume, Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference. CapeTown: Red Roof Design, 1999. P. 194–204.
14. Chakhmouradian A.R., Mitchell R.H. Three compositional varieties of perovskite from kimberlites of the Lac de Gras field Northwest Territories, Canada // Mineralogical Magazine. 2001. Vol. 65(1). P. 133–148.
15. Chakhmouradian A.R., Mitchell R.H. Occurrence, alteration patterns and compositional variation of perovskite in kimberlites // Can. Mineral. 2000. Vol. 38. P. 975–994.
16. Clement C.R. A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State // Ph.D. Thesis (2 vols.), Univ. Cape Town, 1982.
17. Fedortchouk Y., Canil D., Semenets E. Mechanisms of diamond oxidation and their bearing on the fluid composition in kimberlite magmas // American Mineralogist. 2007. Vol. 92. P. 1200–1212.
18. Kamenetsky V.S., Maas R., Kamenetsky M.B. et al. Chlorine from the mantle: Magmatic halides in the Udachnaya-East kimberlite, Siberia // Earth and Planetary Sciences Letters. 2009. Vol. 285. P. 96–104.
19. Karen V. Smit and Russell Shor. Geology and Development of the Lomonosov Diamond Deposit, Northwestern Russia // Gems & Gemmology. 2017. Vol. 53. N. 2. P. 144–167.
20. Kontinen A., Paavola J., Lukkariinen H. K-Ar ages of hornblende and biotite from Late Archaean rocks of eastern Finland- interpretation and discussion of tectonic implications. // Geol. Surv. Finland, Bull. 1992. 365. P. 1–31.
21. Lehtonen M.L. Kimberlites in Finland: information about the mantle of the Karelian craton and implications for diamond exploration: academic dissertation. Espoo, 2005. 31 p.
22. Lehtonen M.L. and O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites. // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2009. Vol. 81. P. 79–102.
23. Mitchell R.H. Kimberlites, Orangeites, and Related Rocks. New York and London (Plenum Press): Springer Science+Business Media, LLC, 1995. 410 p.
24. Nowicki T., Galloway M., le Roex A., Gurney J., Smith C., Canil D. Iron-in-perovskite oxygen barometry and diamond resorption in kimberlites and lamproites from southern Africa, Russia and Australia // 9th International Kimberlite Conference Extended Abstract No. 9IKC-A-00301. Frankfurt, 2008, Vol. 9, P. 1–3.
25. O'Brien H., Peltonen P., Vartiainen H. Kimberlites, carbonatites, and alkaline rocks. In: Lehtinen, M., et al // In: (Ed). Precambrian Geology of Finland—Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Developments in Precambrian Geology 14. Elsevier, Amsterdam, 2005. P. 605–644.
26. O'Brien H., Bradley J. New kimberlite discoveries in Kuusamo, Northern Finland. // Extended Abstract 9th IKC. Frankfurt. 2008. Vol. 9. 3 p.
27. O'Brien H. Kimberlite-hosted diamonds in Finland // Maier W.D., Lahtinen R. and O'Brien H. Mineral Deposits of Finland. Finland, Helsinki, 2015. P. 345–375.
28. O'Brien H., Tyni M. Mineralogy and Geochemistry of Kimberlites and Related Rocks from Finland // Extended Abstracts of 7th International Kimberlite Conference, Red Roof Design, Cape Town, 1999, Vol. 2. P. 625–636.
29. Pasteris, J.D. Spinel zonation in the De Beers kimberlite. South Africa — possible role of phlogopite. // Can. Mineral. 1983. Vol. 21. P. 41–58.
30. Sharygin V.V., Golovin A.V., Pokhilenko N.P., Kamenetsky V.S. Djerfisherite in the Udachnaya-East pipe kimberlites (Sakha-Yakutia, Russia): paragenesis, composition and origin// European Journal of Mineralogy. 2007. Vol. 19. N. 1. P. 51–63.
31. Roeder P.L. and Schulze D.J. Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite // Journal of Petrology. 2008. Vol. 49. N. 8. P. 1473–1495.
32. Maankamara (Geological Survey Of Finland) [Электронный ресурс]. 2005. URL: <https://gtkdata.gtk.fi/Maankamara/index.html> (дата обращения 14.04.2019).



REFERENCES

- Azarova N.S., Bovkun A.V., Varlamov D.A. Djerfisherite from kimberlites of Verhne-Munskoe field (Yakutia). *Collection of the XXIII all-Russian scientific conference «Ural mineralogical school» 2017, dedicated to the 120th anniversary from the birthday of A.G. Betekhtin*, Yekaterinburg, Ltd Universal Typography «Alpha Print», 2017, pp. 14–15 (In Russian)
- Arhangelskaya amazonosnaya provinciya (geologiya, petrografiya, geohimiya i mineralogiya) [Arkhangelsk diamondiferous province (Geology, petrography, geochemistry and Mineralogy)]. Ed. by O.A. Bogatikov, M., Moscow State University Publ., 1999, 524 p. (In Russian)
- Bovkun A.V. *Mineralogia oksidov iz svyazyushey mass kimberlitov Yakutii (geneticheskie i prikladnie aspekti)* Diss. dokt. geol.-min.nauk [Mineralogy of the oxides of the groundmass kimberlites of Yakutia (genetic and applied aspects)]. Dr. geol.-min. sciences. Moscow, 2000, 22 p. (In Russian)
- Bogatikov O.A., Kononova V.A., Nosova A.A., Kargin A.V. Polygenic sources of kimberlites, compositions of magmas and diamond content (on the example of East European and Siberian platforms). *Petrology*, 2009, vol. 17, no. 6, pp. 651–671. (In Russian)
- Garanin V.K., Bovkun A.V., Garanin K.V., Rotman A.Y., Serov I.V. *Mikrokristallicheskie oksidi iz kimberlitov Rossii* [Microcrystal oxides from Russian kimberlites]. Moscow, GEOS Publ., 2009, 489 p. (In Russian)
- Kimberliti i nekimberlitovaya amazonosnost izverzhennih i metamorficheskikh porod* [Kimberlites and non-kimberlite diamond-bearing of igneous and metamorphic rocks]: Method. guide. Moscow, GEOKART, GEOS Publ., 2010, 448 p. (In Russian)
- Spiridonov E.M., Dashevskaya D.M. Chromespinelides and associate with them minerals of early geosynclinal ultramafic volcanic rocks of the Northern Kazakhstan. *Novie dannie o mineralah — New data on minerals*. Moscow, 1988, Is. 35, pp. 161–182. (In Russian)
- Sharygin V.V. Potassium sulphide in kimberlites of the pipe International (Yakutia). Geochemistry, Petrology, Mineralogy and Genesis of alkaline rocks [Proc. of the all-Russian meeting «Geochemistry, Petrology, Mineralogy and Genesis of alkaline rocks» (September 18–23, 2006)]. Miass, 2006, pp. 304–307. (In Russian)
- Sharygin I.S., Golovin A.V., Pokhilenko N.P. Djerfisherite in xenoliths of deformed peridotites of the pipe Udachnaya-East (Yakutia): Problems of origin and communication with kimberlite magmatism. *Geologiya i Geofizika, Geology and Geophysics*, 2012, vol. 53, no. 3, pp. 321–340. (In Russian)
- Abersteiner Adam et al. Composition and Emplacement of the Benfontein Kimberlite Sill Complex (Kimberley, South Africa): Textural, Petrographic and Melt Inclusion Constraints. 2019, vol. 324–325, pp. 297–314., doi:10.1016/j. Lithos. 2018.11.017.
- Bellis, Anthony and Dante Canil. «Ferric Iron in CaTiO₃ Perovskite as an Oxygen Barometer for Kimberlitic Magmas I: Experimental Calibration». *Journal of Petrology*, 2006, vol. 48, no. 2, pp. 219–230., doi:10.1093/petrology/egl054.
- Boctor, Nabil Z., and F. R. Boyd. «Oxide Minerals in a Layered Kimberlite-Carbonate Sill from Benfontein, South Africa». *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1981, vol. 76, no. 3, pp. 253–259, doi:10.1007/bf00375452.
- Chakhmouradian, A. R., and R. H. Mitchell. Occurrence, Alteration Patterns And Compositional Variation Of Perovskite In Kimberlites. *The Canadian Mineralogist*, 2000, vol. 38, no. 4, pp. 975–994., doi:10.2113/gscanmin.38.4.975.
- Chakhmouradian, A.R., and R.H. Mitchell. Three Compositional Varieties of Perovskite from Kimberlites of the Lac De Gras Field (Northwest Territories, Canada). *Mineralogical Magazine*, 2001, vol. 65, no. 1, pp. 133–148, doi:10.1180/002646101550082.
- Clement, C.R. A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State, *Ph.D. Thesis* (2 vols.), Univ. Cape Town, 1982.
- Doyle, B.J., Kivi, K. and Scott Smith B.H. The Tli Kwi Cho (DO27 and DO18) Diamondiferous Kimberlite Complex Slave Craton, Northwest Territories, Canada. *International Kimberlite Conference Extended Abstracts*, 1998, doi:10.29173/ikc2682.
- Fedortchouk, Y., et al. Mechanisms of Diamond Oxidation and Their Bearing on the Fluid Composition in Kimberlite Magmas. *American Mineralogist*, 2007, vol. 92, no. 7, pp. 1200–1212., doi:10.2138/am.2007.2416.
- Kamenetsky, Vadim S., et al. Chlorine from the Mantle: Magmatic Halides in the Udachnaya-East Kimberlite, Siberia. *Earth and Planetary Science Letters*, 2009, vol. 285, no. 1–2, pp. 96–104, doi:10.1016/j.epsl.2009.06.001.
- Kontinen A., Paavola J., Lukkarinen H. K-Ar ages of hornblende and biotite from Late Archaean rocks of eastern Finland – interpretation and discussion of tectonic implications. *Geol. Surv. Finland, Bull.*, 1992, 365, pp. 1–31.
- Lehtonen M.L. *Kimberlites in Finland: information about the mantle of the Karelian craton and implications for diamond exploration : academic dissertation*. Espoo, 2005, 31 p.
- Lehtonen, M., and H. O'Brien. Mantle Transect of the Karelian Craton from Margin to Core Based on P-T Data from Garnet and Clinopyroxene Xenocrysts in Kimberlites. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 2009, vol. 81, no. 2, pp. 79–102, doi:10.17741/bgsf/81.2.001.
- Mitchell R. H. *Kimberlites, Orangeites, and Related Rocks*. New York and London (Plenum Press): Springer Science+Business Media, LLC Publ., 1995, 410 p.
- Nowicki, T., et. Al. Iron-in-Perovskite Oxygen Barometry and Diamond Resorption in Kimberlites and Lamproites from Southern Africa, Russia and Australia. *International Kimberlite Conference Extended Abstracts*, 2008, doi:10.29173/ikc3530.
- O'Brien, H.E., et al. Chapter 14 Kimberlites, Carbonatites, and Alkaline Rocks. *Precambrian Geology of Finland Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield Developments in Precambrian Geology*, 2005, pp. 605–644, doi:10.1016/s0166-2635(05)80015-5.
- O'Brien, H., Bradley, J. New Kimberlite Discoveries in Kuusamo, Northern Finland. *International Kimberlite Conference Extended Abstracts*, 2008, doi:10.29173/ikc3565.
- O'Brien, H. Kimberlite-Hosted Diamonds in Finland. *Mineral Deposits of Finland*, 2015, pp. 345–375, doi:10.1016/b978-0-12-410438-9.00014-5.
- O'Brien, H., Tyni, M. Mineralogy and Geochemistry of Kimberlites and Related Rocks from Finland. *International Kimberlite Conference Extended Abstracts*, 1998, doi:10.29173/ikc2832.
- Pasteris, J.D. Spinel zonation in the De Beers kimberlite. South Africa — possible role of phlogopite. *Can. Mineral*, 1983, vol. 21, pp. 41–58.
- Sharygin, Victor V., et al. Djerfisherite in the Udachnaya-East Pipe Kimberlites (Sakha-Yakutia, Russia): Paragenesis, Composition and Origin. *European Journal of Mineralogy*, 2007, vol. 19, no. 1, pp. 51–63, doi:10.1127/0935-1221/2007/0019-0051.
- Smit, Karen V., and Russell Shor. Geology and Development of the Lomonsov Diamond Deposit, Northwestern Russia, *Gems & Gemology*, 2017, doi:10.5741/gems.53.2.144.
- Roeder, P.L., and D.J. Schulze. Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite. *Journal of Petrology*, 2008, vol. 49, no. 8, pp. 1473–1495., doi:10.1093/petrology/egn034.
- Maankamara*, 2005. Available from: <http://www.gtkdata.gtk.fi/Maankamara/index.html>. (last accessed 14.04.2019).
- Modeland Sh. *Diamond exploration in Eastern Finland*. Karelian Diamond Resources, Available from: <http://www.4-traders.com/KARELIAN-DIAMOND-RESOURCES-4004801/news/Karelian-Diamond-Resources-Beaufort-Report-KDR-Diamond-exploration-in-Eastern-Finland-22011906.html>. (last accessed 14.04.2019).

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

УДК 553.072; 553.075; 553.430

**БРЕКЧИЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ РУДНОГО УЧАСТКА СВОБОДА
МАЛМЫЖСКОГО ЗОЛОТОМЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)***

В.В. СВИСТУНОВ

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119234, Россия
e-mail: vasilyvistunov@mail.ru*

Изучена и описана структура и разновидности брекчиевых тел рудного участка Свобода Малмыжского месторождения: крупного — сложной структуры эруптивных (гидротермально-магматических) брекчий и относительно мелкого — столбообразного тела фреатических брекчий. Эруптивные брекчии являются интрарудными по отношению к золотомедному оруденению. Обломочная часть в них представлена преимущественно метасоматически-изменёнными интрузивными породами 1-й фазы внедрения и осадочными образованиями ларгасинской свиты мелового возраста. Цементирующим материалом брекчий служит калиевошпат-кварц-хлорит-серицитовая масса, представляющая собой интенсивно метасоматически-преобразованные породы 2-й интрузивной фазы внедрения. Рудная минерализация в брекчиях имеет прожилково-вкрапленную текстуру и входит в состав обломочной части брекчий, а также наложена на сформированные тела брекчии в процессе их метасоматического преобразования. Фреатические брекчии возникли на завершающих стадиях развития порфировой системы. Они отличаются низкими содержаниями меди и золота и резкими секущими контактами с вмещающими их породами. Состав обломков в целом схож с эруптивными брекчиями, цемент — кварц-серицит-эпидот-хлоритовый. Позиция рудной минерализации аналогична таковой в эруптивных брекчиях, однако проявлена в гораздо меньшей степени. Согласно предлагаемой генетической модели, образование тела эруптивных брекчий произошло в результате флюидизации пород, расположенных в присводовой части интрузивного тела, с последующим внедрением значительных объёмов магматического расплава. В дальнейшем при подъёме флюиды вступали во взаимодействие с холодными приповерхностными водами, что вызывало формирование фреатических брекчий. Изученные особенности брекчиевых образований хорошо согласуются с классической моделью медно-порфирировых месторождений мира.

Ключевые слова: медь; золото; порфирировые месторождения; брекчии.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-50-57

**BRECCIAS OF SVOBODA ORE AREA OF MALMYZHSKOE GOLD-COPPER
PORPHYRY DEPOSIT (KHABAROVSK TERRITORY)**

V.V. SVISTUNOV

*Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gori, Moscow 119234, Russia
e-mail: vasilyvistunov@mail.ru*

The texture and variety of types of breccia bodies of the ore section of the Svoboda at the Malmyzhskoye deposit have been studied and described: a large one — the complex structure of eruptive (hydrothermal-magmatic) breccias and a relatively small — the columnar body of phreatic breccias. Eruptive breccias are intra-ore with respect to gold-copper mineralization. The detrital part in them is represented mainly by metasomatically altered intrusive rocks of the 1st phase of introduction and sedimentary formations of the cretaceous Largasinsky suite. Breccia cementing material is potassium feldspar-quartz-chlorite-sericite mass, which is an intensively



metasomatically altered rock of the 2nd intrusive phase of intrusion. Ore mineralization in breccias has a vein-disseminated texture and is part of the clastic part of breccias and is also superimposed on the already formed breccia bodies in the process of their metasomatic alternation. Phreatic breccias formed at the final stages of the development of the porphyry system. They are distinguished by low copper and gold contents and sharp secant contacts with the rocks surrounding them. The composition of the debris is generally similar to eruptive breccia, cement is quartz-sericite-epidote-chlorite. The position of ore mineralization is similar to that in eruptive breccias, but it is manifested to a much lesser extent. According to the proposed genetic model, the formation of the body of eruptive breccias occurred as a result of fluidization of rocks located in the arches of the intrusive body, followed by the introduction of significant volumes of magmatic melt. Subsequently, when rising, the fluids interacted with the cold near-surface waters, which caused the formation of phreatic breccias. The studied features of breccia formations are in a good agreement with the classical model of copper-porphyry deposits of the world.

Keywords: copper; gold; porphyry deposits; breccia.

Малмыжское золотомедно-порфировое месторождение, открытие которого состоялось в 2005—2007 гг., расположено в Хабаровском крае. Оно является первым обнаруженным и успешно поставленным на государственный баланс объектом данного типа на территории Дальнего Востока России. По запасам меди и золота месторождение относится к категории крупных (утверждённые ГКЗ Роснедра в 2015 г. запасы категорий C_1+C_2 : Cu — 5,1 млн т, Au — 278 т) [6]. В то же время месторождение сохраняет перспективы наращивания запасов на слабоизученных участках, в пределах которых сосредоточены значительные объёмы ресурсов (P_1 : Cu — 3,3 млн т, Au — 151 т [6]). Продолжающиеся геолого-разведочные работы способствуют переводу месторождения в разряд уникальных в ближайшее время, а доказанная и устойчивая рентабельность позволяет предполагать начало освоения в течение следующих нескольких лет. На данный момент многие особенности месторождения еще слабо изучены, что делает весьма актуальными научные исследования данного объекта.

При изучении порфировых объектов традиционно особое внимание уделяют разнообразным брекчиевым образованиям, так как их наличие и определённые характеристики могут являться важным поисковым критерием для данного типа месторождений, позволяя предполагать наличие порфировой минерализации даже при «слепом» положении рудных залежей. Необходимо отметить, что исследования брекчиевых образований позволяют оценить масштабы и характеристику формировавшихся месторождение флюидно-магматических систем, что даёт возможность в значительной мере уточнять геолого-генетическую модель того или иного объекта.

Наличие брекчиевых тел является одной из особенностей порфировых месторождений. Такие тела могут иметь различную морфологию и размеры — от мелких дайкоподобных, мощностью менее 1 м, до крупных столбообразных, размером несколько сотен метров в поперечнике. Как правило, развитие таких тел непосредственно связано с процессом внедрения интрузий и отвечает одной

(в редких случаях — нескольким) из стадий развития магматических комплексов [4, 5, 10—13].

Геологическое положение Малмыжского месторождения

В соответствии с тектоническим районированием Дальнего Востока России, Малмыжское месторождение расположено в северо-западной части Журавлевско-Амурского террейна, который представляет собой фрагмент окраинного синдвигового турбидитового бассейна мелового возраста. Данный террейн занимает большую часть Сихотэ-Алинского хребта и в региональном плане входит в состав Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского орогенного пояса [8, 9].

Рудное поле Малмыжского месторождения контролируется левосдвиговыми разломами северо-восточного простирания, которые определяют размещение порфировых интрузий. Крупные структурные элементы аналогичных направлений и кинематики, главным из которых является Центральный Сихотэ-Алинский разлом, определяют как общую тектоническую обстановку Сихотэ-Алиня, так и особенности локализации рудных объектов региона [1, 3, 8].

Территория Малмыжского месторождения представляет собой перекрытую четвертичными образованиями толщу терригенных морских отложений (песчаников, алевролитов) мелового возраста, относимых к ларгасинской свите, которую прорывают интрузии (штоки, дайки) среднего и умеренно-кислого составов (диориты, гранодиориты). На данный момент выделено 10 центров золотомедно-порфировой минерализации. Наиболее крупными и хорошо изученными являются участки Центральный, Равнина, Долина и Свобода.

Геологическое строение рудного участка Свобода

Главную роль в строении участка Свобода играют интрузивные образования среднего—умеренно кислого состава двух фаз внедрения: к первой относятся, преимущественно диорит-порфириды,

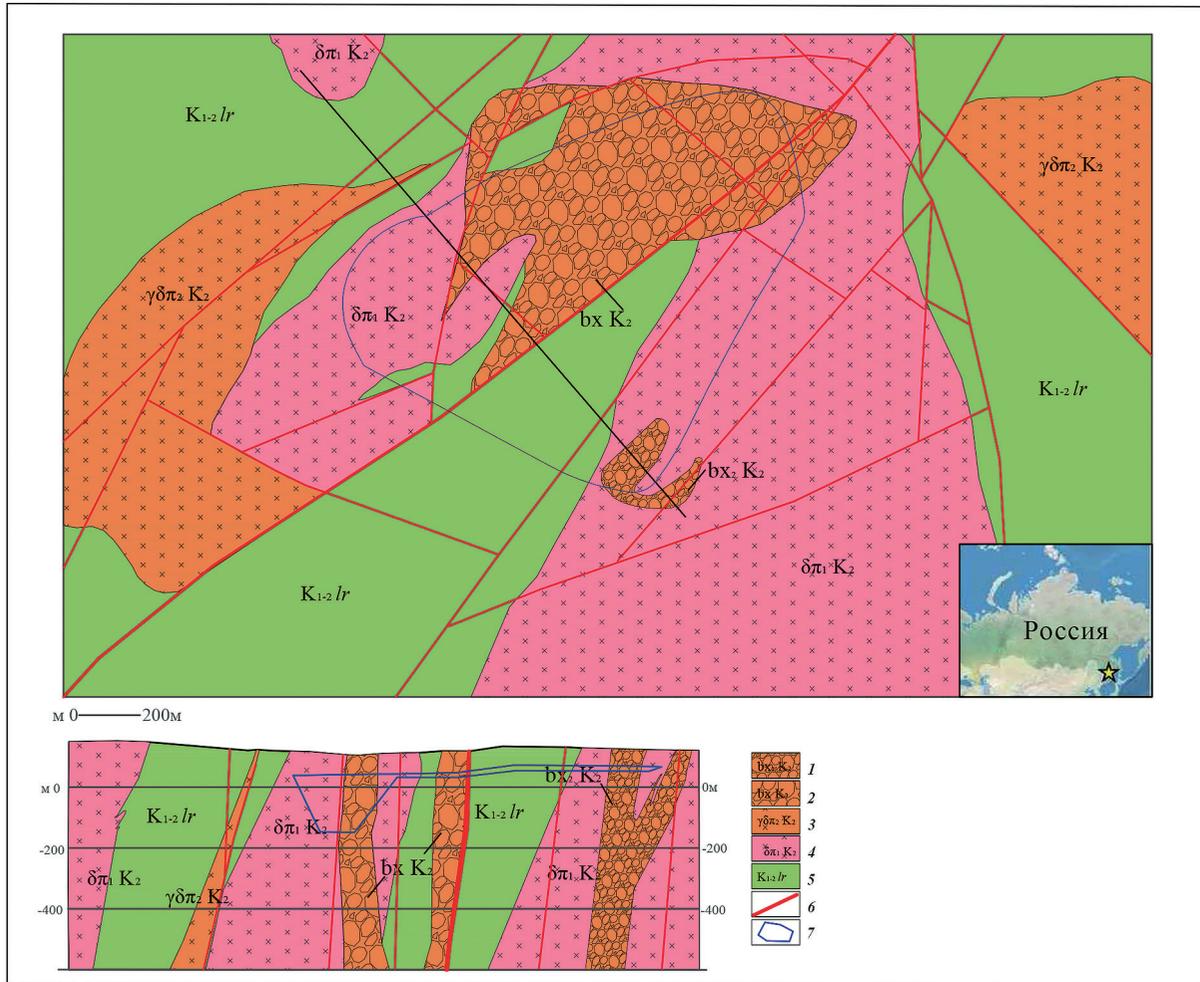


Рис. 1. Схематическая геологическая карта рудного участка Свобода Малмыжского золотомедно-порфирового месторождения и разрез через центральную часть участка. На врезке – расположение Малмыжского месторождения на карте РФ (по [2], с дополнениями): 1 – фреатические брекчии; 2 – гидротермально-магматические брекчии; 3 – гранодиорит-порфиры 2-й фазы внедрения; 4 – диорит-порфиры 1-й фазы внедрения; 5 – терригенные отложения ларгасинской свиты; 6 – разрывные нарушения; 7 – контур рудного тела ($Cu_{\text{уд}} > 0,2\%$)

ко второй — кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры. Интрузивные образования формируют в пределах участка несколько штоков различных форм и размеров (от нескольких сотен метров до 2 км в поперечнике). Также к образованиям 2-й интрузивной фазы относятся эруптивные и фреатические брекчии. Стратифицированные образования представлены в различной степени ороговикованными терригенными отложениями ларгасинской свиты, имеющей меловой возраст. В центральной части участка проходит крупный разлом левосдвиговой кинематики северо-восточного направления с амплитудой смещения до нескольких сотен метров. Мелкие разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного направлений часто приурочены к контактовым зонам штоков, обладают амплитудами смещения в несколько десятков метров (рис. 1) [2].

Тела брекчий рудного участка Свобода

В пределах участка выделяются два тела брекчий. Крупное сложено эруптивными брекчиями, имеет сложную каплевидную в плане форму, немного вытянутую в северо-восточном направлении, с выделяющимися в юго-западной части ответвлениями. Размеры тела в плане составляют 1300×500 м. В разрезе оно характеризуется столбообразной формой, без заметного выклинивания на глубину (наиболее глубокими скважинами прослеживается более чем на 800 м). Контакты этого тела часто затушеваны интенсивными метасоматическими преобразованиями (преимущественно кварц-хлорит-серицитовыми), а также зоной интенсивного дробления, но в общем характеризуются довольно крутым падением. Вмещающими породами для тела эруптивных брекчий являются



интрузивные породы 1-й фазы внедрения и орогованные отложения ларгасинской свиты.

Второе тело, сложенное фреатическими брекчиями, расположено в пределах массива кварцевых диорит-порфиритов 1-й фазы. Оно имеет подковообразную форму и значительно меньшие размеры (250×250 м в плане, на глубину прослежено на 270 м). В разрезе оно представляет собой столбообразную структуру с разветвлением в приповерхностной части. Контакты этого тела чёткие, резкие, при крутом (до вертикального) падении.

Величину вертикальной транспортировки материала достаточно сложно определить ввиду отсутствия контрастно разнородных толщ в породах, вмещающих брекчиевые тела.

Описанные тела брекчий не имеют пересечений, что не позволяет однозначно установить их временные взаимоотношения. Кроме того, ввиду пространственной удалённости тел отсутствуют

фрагменты типа «брекчия в брекчии». Однако, как правило, фреатические брекчии формируются на заключительных стадиях развития гидротермально-магматических систем [12, 13]. На более позднее образование тела фреатических брекчий указывает, в частности, относительно низкотемпературный характер метасоматических изменений обломочной части (преобладает серицит-эпидот-хлоритовый характер преобразований) и бедная рудная минерализация.

Характеристика разновидностей брекчий рудного участка Свобода

В пределах участка Свобода выделено три типа брекчиевых образований — эруптивные, фреатические и тектонические. Краткая характеристика брекчиевых образований приведена в таблице. Все типы брекчий являются преимущественно поли-

Разновидности брекчий участка Свобода

Тип брекчий	Распространение	Морфология тел	Обломки	Матрикс	Позиция оруденения	
Тектонические	Локальное	Узкие, линейно-вытянутые, мощностью до 5–15 м, протяженность – десятки–сотни метров	Угловатые, размер 1–3 см, состав – песчаники, диорит-порфириты, 20–60% породы	Тонкоперетертый материал аналогичен по составу обломочной части	Тонкие пирит-кварцевые прожилки, рассеянная вкрапленность $Pu >> Sr$, в обломках и в матриксе, сумма sulf < 1%	
Эруптивные	Гидротермальные (краевые части тела)	Часто встречаются	Тела неправильной формы, размер – десятки сотен метров, развиты в апикальных и краевых частях брекчиевой трубки	Угловатые, размер 1–5 см, состав – диорит-порфириты, реже песчаники, 30–60% породы	Кварц-серицитовый, кварцевый, хлорит-кварцевый материал	Кварц-сульфидные прожилки мощностью 0,01–5 см, рассеянная вкрапленность Pu, Sr , сумма sulf 1–4%
	Магматогенные (центральные части тела)	Преобладают	Тела неправильной, трубообразной формы, размер – несколько сотен метров	Угловатые, слабосглаженные, размер 2–10 см, состав – песчаники, диорит-порфириты, 40–60% породы	Мелкозернистый, калиевошпат-хлорит-кварц-серицитовый по диорит-порфиритам	Тонкие кварц-пиритовые прожилки, рассеянная вкрапленность $Pu > Sr$, в обломках и в матриксе, сумма sulf 1–3%
Фреатические	Локальное	Трубкаподобное тело размером 250×250 м в плане, контакты с вмещающими породами резкие	Угловатые, размер 1–10 см, состав – песчаники, диорит-порфириты, гранодиориты, 10–80% породы	Мелкозернистый, кварц-хлорит-серицитовый	Редкие сульфидно-кварцевые прожилки, рассеянная вкрапленность $Pu > Sr$, в обломках и в матриксе, сумма sulf 1–2%	

Примечание. Sulf – сульфиды, Pu – пирит, Sr – халькопирит.



миктовыми, кластическая часть представлена обломками вмещающих пород — песчаников, алевролитов, роговиков, диорит-порфиритов 1-й фазы и кварцевых диорит-порфиритов, гранодиоритов 2-й фазы, различных метасоматитов (в том числе и рудоносных) и других пород в разнообразных соотношениях [2, 7].

К эруптивным относятся брекчии с изначально магматическим матриксом, аналогичным по составу интрузивам 2-й фазы внедрения (кварцево-диорит-порфиритовый, гранодиорит-порфиритовый), в различной степени преобразованным под действием метасоматических процессов в хлорит-серицит-кварцевый (иногда с магнетитом или сульфидами) материал. При этом наиболее интенсивная переработка происходила в апикальных и краевых частях тел, где сформировались брекчии с преобладающим значением гидротермального цемента. Такие брекчии имеют небольшие мощность и протяженность, располагаются в приконтактных частях магматогенных брекчий, обломки в них (как и в прилегающих частях брекчиевого тела с

изначально магматическим цементом) чаще всего угловой формы, без признаков значительной транспортировки материала. Это может указывать на значительную роль флюидной компоненты в процессе формирования брекчий. В центральных частях тел метасоматические преобразования матрикса проявлены в меньшей степени. В обломочной части (которая составляет 30—60% породы) преобладают слабосглаженные, реже угловатые обломки со следами обработки и переноса. Состав обломочной части — окварцовые, калиевошпатизированные диорит-порфириты 1-й фазы внедрения, ороговикованные песчаники ларгасинской свиты, в меньшем количестве встречаются кварцевые диорит-порфириты и гранодиорит-порфиры 2-й фазы внедрения. Размер обломков составляет от нескольких сантиметров до 1,5 м, преобладающий — 3—10 см.

Цемент фреатических брекчий тонкозернистый кварц-хлорит-серицитовый, иногда с эпидотом, биотитом и магнетитом. В обломочной части (10—80% породы) преобладают окварцованные,

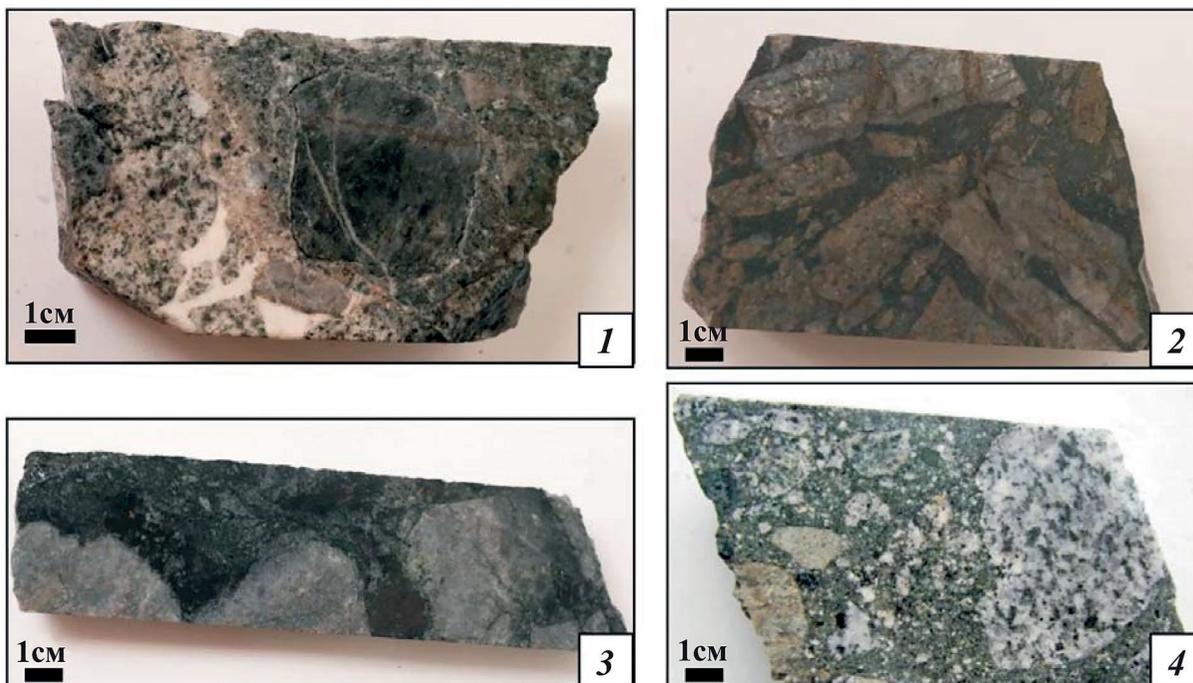


Рис. 2. Разновидности брекчиевых образований рудного участка Свобода Малмыжского золотомедно-порфирового месторождения (содержания Cu и Au [2]): 1 — гидротермально-магматические брекчии, заметен обломок диорит-порфиритов 1-й фазы внедрения, с тонкими безрудными кварцевыми прожилками (тип А1), и пересекающим их сульфидным прожилком с калиевым полевым шпатом в зальбандах (тип В), цемент — chl-qtz-ser (Cu 0,82%, Au 0,27 г/т); 2 — гидротермально-магматические брекчии, в обломочной части заметны кварцевые прожилки с тонкими сульфидными просечками, цемент — qtz-ser-chl±mag (Cu 0,21%, Au 0,15 г/т); 3 — гидротермально-магматическая брекчии, в обломочной части — окварцованные диорит-порфириты 1-й фазы, цемент — qtz-ser-mag-chl±sulf (Cu 0,15%, Au 0,10 г/т); 4 — гидротермально-магматическая брекчии, в обломочной части — слабоизменённые гранодиорит-порфиры и песчаники ларгасинской свиты, цемент — chl-qtz-ser ±mag (Cu 0,06%, Au 0,02 г/т)



ороговикованные песчаники и алевролиты, примерно в равном объёме представлены хлоритизированные и серицитизированные интрузивные породы 1- и 2-й фаз внедрения. Преобладают обломки угловатой формы, размером обычно до 10 см, в единичных случаях — 10—30 см. В целом отличительными чертами тела фреатических брекчий является наличие хорошо выраженного резкого контакта с вмещающими породами, относительно большее количество обломков терригенных пород (50—70% обломочной части), имеющих преимущественно угловатую форму, изначально гидротермальный цемент, и значительно меньшая интенсивность проявления рудной минерализации.

Повсеместно брекчиевые образования метасоматически преобразованы, что часто достаточно интенсивно изменяет первоначальный облик пород. Преобладают кварц-хлорит-серицитовые и серицит-эпидот-хлоритовые изменения. Прожилково-вкрапленная рудная минерализация участка Свобода имеет гидротермально-метасоматический генезис. При этом установлено два типа положения сульфидной минерализации: в обломочной части и в наложившемся на сформированные тела брекчий при их метасоматическом преобразовании виде (рис. 2).

Тела тектонических брекчий сложены небольшими обломками (преимущественно 1—5 см) магматических и терригенных пород, заключённых в цемент из тонкоперетёртой массы аналогичного состава. Они представляют собой вытянутые линейные зоны протяжённостью до нескольких сотен метров, при мощности до 10—15 м. Халькопирит-пиритовая минерализация в них проявлена слабо, чаще в виде рассеянной вкрапленности по цементу, реже — в обломочной части.

Генетическая модель формирования тел брекчий рудного участка Свобода

Генетическая модель формирования тел брекчий в целом отвечает описанной отечественными и зарубежными авторами в ряде работ [4, 5, 10, 12, 13]. Наблюдения дают основание предполагать, что образование тел происходило в несколько этапов. Предположительно при поднятии от очага с больших глубин флюидонасыщенные магмы охлаждались, происходило их декомпрессионное вскипание. Выделявшиеся при этом летучие компоненты накапливались в присводовой части интрузива. Совместно с этим нарастало давление на вмещающие породы. Благоприятным фактором для этого процесса являлась «флюидоупорность»

терригенных пород ларгасинской свиты, которые выполняли функцию своеобразного экрана. После накопления необходимого количества флюидной компоненты и достижения критического давления произошла эксплозия с последующим внедрением больших объёмов магматического расплава, сопровождавшимся разрушением и захватом обломков вмещающих пород. Так было сформировано тело эруптивных брекчий с вертикальным размером более 800 м. При дальнейшем поднятии оставшихся и вновь поступающих из материнской магматической камеры флюидов происходило их взаимодействие с холодными приповерхностными водами, что вызывало формирование фреатических брекчий. На финальных стадиях развития брекчиевой структуры в периферических частях тел брекчий происходило активное движение растворов, именно в этих областях возникли брекчии с преобладающим гидротермальным цементом (преимущественно серицит-кварцевым), этому способствовала повышенная трещиноватость в породах, вмещающих тело брекчий, сформировавшаяся в процессе его внедрения.

По отношению ко времени образования рудоносных метасоматитов тело эруптивных брекчий является интравудным, т. е. сформировалось между главными стадиями рудообразования. Об этом свидетельствует небольшое количество метасоматически преобразованных пород и прожилковых образований в обломочной части брекчий. Метасоматиты обломочной части являются породами, преобразованными под действием гидротерм, связанных с интрузивами 1-й фазы внедрения. Наиболее широко проявленные метасоматические преобразования и сопутствующая им рудная прожилково-вкрапленная минерализация накладывались как на вмещающие породы, так и на сформированные тела брекчий. Эти факты могут свидетельствовать о том, что наиболее интенсивная гидротермальная деятельность, результатом которой является метасоматическое преобразование пород и рудоотложение, связана именно с интрузиями 2-й фазы внедрения. При этом тело фреатических брекчий, по-видимому, формировалось на завершающих стадиях развития порфировой системы, однако и в них наблюдается прожилково-вкрапленная минерализация, проявленная в значительно меньшей степени.

Образование каждой из разновидностей брекчий (кроме тектонических) представляло собой линейный, однократный процесс. Об этом свидетельствует отсутствие ранних брекчий среди обломков как в эруптивных, так и во фреатических брекчиях.



Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы о геологических особенностях брекчиевых образований рудного участка Свобода:

1. Формирование эруптивных брекчий происходило в интратрудную стадию развития гидротермально-магматической системы и генетически связано с интрузивами 2-й фазы внедрения, а фреатических — на завершающих стадиях развития системы.

2. Наличие небольшого количество обломков метасоматически преобразованных пород и рудоносных прожилков в брекчиях свидетельствует о рудоносности интрузивов 1-й фазы, однако основная доля рудной минерализации участка связана со 2-й фазой.

3. Предположительно образование тел брекчий представляло собой линейный однократный процесс. Эруптивные брекчии сформировались в результате флюидизации пород, расположенных в присводовой части интрузивного тела, при активном выделении летучих компонентов, поступающих из материнского очага. Процесс эксплозии сопровождался внедрением больших объемов магматического расплава, сформировавшим брекчии с изначально интрузивным матриксом. При дальнейшем поднятии и резком охлаждении образовались фреатические брекчии.

4. Приведенная последовательность формирования тел брекчий и их характеристики хорошо согласуются с классической моделью, предложенной для порфировых месторождений Р. Силлитой [12, 13] и другими авторами [4, 5, 10, 11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б.А. Центральный Сихотэ-Алинский разлом. Владивосток: Дальневосточное книжное издательство, 1972. 115 с.
2. Игнатъев Е.К. и др. Отчет по оценочным работам на рудное золото, медь и сопутствующие компоненты, проведенным на выявленных объектах Малмыжского рудного поля и участке Северный Малмыж в 2013—2015 гг., с подсчетом запасов меди и золота по состоянию на 01.01.2015 г. Хабаровск, 2015, 311 с.
3. Коковкин А.А. Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена. Металлогения Сихотэ-Алинской рудной провинции. Региональная геология и металлогения. 2013. № 58. С. 105—113.
4. Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М.: Недра, 1983. 256 с.
5. Кривцов А.И., Звездов В.С., Мигачёв И.Ф., Минина О.В. Медно-порфировые месторождения. М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с.
6. Малмыжское месторождение [Электронный ресурс]. 2015. URL: [http:// igscorper.net/ru](http://igscorper.net/ru) (дата обращения: 01.03.2019).
7. Свистунов В.В. Строение и разновидности брекчий золото-меднопорфирового месторождения Малмыжское (Хабаровский край) на примере участка Свобода [Электронный ресурс] // Тез. докл. «Новое в познании процессов рудообразования». Восьмая Российская молодежная научно-практическая школа, Москва, 26—30 ноября 2018 г. Сборник материалов. М.: ИГЕМ РАН, 2018. С. 313—315. URL: http://www.igem.ru/ccm/geo_for_young_8/geo_for_young_8.html (дата обращения: 01.04.2019).
8. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
9. Читалин А.Ф., Ефимов А.А., Воскресенский К.И., Игнатъев Е.К., Колесников А.Г. Малмыжское месторождение — новая крупная золото-медно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 3. С. 65—69.
10. Эндеогенные рудоносные брекчиевые образования. Методические рекомендации по выявлению эндогенных брекчиевых образований различных генетических типов и оценке их потенциальной рудоносности применительно к задачам Госгеолкарт. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2018. 104 с.
11. Peter H.F., Jonh L.W., Doug Archibald, Skarmeta J., Serrano L., Vargas R. Mineralogical and Isotopic Zonation in the Sur-Sur Tourmaline Breccia, Rho Blanco-Los Bronces Cu-Mo Deposit, Chile: Implications for Ore Genesis. // Economic Geology. 2005. V. 100, P. 935—961.
12. Sillitoe R.H. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. // Economic Geology. 1985. V. 80. P. 1467—1514.
13. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems. // Economic Geology. 2010. V. 105. P. 3—41.

REFERENCES

1. Ivanov B.A. *Central'nyj Sihotje-Alinskij razlom* [The Central Sikhote-Alin fault]. Vladivostok: Far Eastern book publishing, 1972, 115 p. (in Russian).
2. Ignatiev E.K. and etc. *Otchet po ocenochnym rabotam na rudnoe zloto, med' i soputstvujushhie komponenty, provedennym na vyjavlennyh ob'ektah Malmyzhskogo rudnogo polja i uchastke Severnyj Malmyzh v 2013—2015 gg., s podschetom zapasov medi i zlota po sostojaniju na 01.01.2015 g.* [Report estimated works on ore gold, copper and associated components are conducted at identified facilities Malmyzhskiy ore field and the section Northern Malmyzh in 2013—2015, with the estimated reserves of copper and gold as at 01.01.2015]. Khabarovsk, 2015, 311 p. (in Russian).
3. Kokovkin A.A. Novejshaja struktura Sihotje-Alinskogo orogena, Metallogenija Sihotje-Alinskoy rudnoj provincii [Recent structure of the Sikhote-Alin orogeny, Metallogeny of the Sikhote-Alinskii ore province], *Regional'naja Geologija i metallogenija* [Regional Geology and metallogeny], 2013, no. 58, pp. 105—113. (in Russian)
4. Krivtsov A.I. *Geologicheskie osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovych mestorozhdenij* [Geological bases of forecasting and searches of copper-porphyry deposits]. Moscow, Nedra publ, 1983, 256 p. (in Russian).



5. Krivtsov A.I., Zvezdov V.S., Migachjov I.F., Minina O.V. *Medno-porfirovye mestorozhdenija* [Copper-porphyry depo-sits]. Moscow, TSNIGRI Publ., 2001, 232 p. (in Russian).
6. *Malmyzhskoe mestorozhdenie* [Malmyzh deposit]. 2015. Available at: <http://igcopper.net.ru> (accessed 1 March 2019).
7. Svistunov V.V. Structure and types of breccia of Malmyzh gold-copper porphyry deposits (Khabarovsk Krai) on the basis of area Freedom. *Theses of the Eighth Russian youth scientific practical School «New in knowledge of ore formation processes», Moscow, November 26–30, 2018. Collection of material.* Moscow: IGEM RAS publ., 2018, pp. 313–315. Available at: http://www.igem.ru/ccm/geo_for_young_8/geo_for_young_8.html (accessed 1 April 2019). (in Russian).
8. *Geodinamika, magmatizm i metallogenija Vostoka Rossii: v 2 kn* [Geo-dynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East: in 2 books], ed. by A.I. Khanchuk. Vladivostok, Dalnauka Publ, 2006, Book 1, 572 p. (in Russian).
9. Chitalin A.F., Efimov A.A., Voskresenskiy K.I., Ignat'ev E.K., Kolesnikov A.G. Malmyzhskoe mestorozhdenie — novaja krupnaja zolotomedno-porfirovaja sistema mirovogo klassa na Sihotje-Aline [Malmyzhskiy Deposit, a new large copper-gold-porphyry system world-class Sikhote-Alin], *Mineralnye resursy Rossii. Economica i menegment* [Mineral resources of Russia. Economics and management], 2013, no. 3, pp. 65–69. (in Russian).
10. *Jendogennye rudonosnye brekchievye obrazovaniya. Metodicheskie rekomendacii po vyjavleniju jendogennyh brekchievyh obrazovaniy razlichnyh geneticheskikh tipov i ocenke ih potencial'noj rudonosnosti primenitel'no k zadacham Gosgeol'kart* [Endogenous ore-bearing breccia formations. Methodological recommendations on identification of endogenous breccias formation of different genetic types and estimation of their potential ore content related to the task Gosgeol'kart]. Sankt-Petersburg, VSEGEI Publ., 2018, 104 p. (in Russian).
11. Peter H.F., Jonh L.W., Doug Archibald, Skarmeta J., Serrano L., Vargas R. Mineralogical and Isotopic Zonation in the Sur-Sur Tourmaline Breccia, Rho Blanco-Los Bronces Cu-Mo Deposit, Chile: Implications for Ore Genesis, *Economic Geology*, 2005, v. 100, pp. 935–961.
12. Sillitoe R.H. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs, *Economic Geology*, 1985, v. 80, pp. 1467–1514.
13. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems, *Economic Geology*, 2010, v. 105, pp. 3–41

УДК 553. 087

МИНЕРАЛОГИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДРАЖНОЕ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)*

В.Ю. ЧИКАТУЕВА^{1,2}, С.А. СИТКЕВИЧ²

¹Московский государственный университет им М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
e-mail: v.chikatueva@igeotech.ru

²ООО «Институт геотехнологий»
1, стр. 77, Ленинские горы, г. Москва 119234, Россия
e-mail: s.sitkevich@igeotech.ru

Приведены новые данные о минеральном составе руд золоторудного месторождения Дrajное, расположенного в пределах Тарынского рудного поля. Изучены образцы из центральных и фланговых участков месторождения, характеризующие как рудные, так и безрудные зоны. Детальные исследования взаимоотношений и форм выделений минералов и их агрегатов позволили установить два основных этапа минералообразования: осадочно-диагенетический и гидротермально-метасоматический. Выявлено, что основным осадителем раннего самородного золота являлся пирротин, который в последствии практически полностью был замещен более поздним пиритом в результате повышения фугитивности серы. Самородное золото формировалось из золотосодержащих растворов на поздних стадиях гидротермально-метасоматического этапа и зачастую находится в кварцевых и кварц-карбонатных прожилках в виде самостоятельных выделений, реже ассоциирует с пиритом, арсенопиритом и другими сульфидами. Учитывая тип золоторудной минерализации и предполагаемый глубинный источник растворов, данное месторождение, предварительно отнесено к гидротермально-плутоногенной золотокварцевой формации.

Ключевые слова: золоторудное месторождение; золото; тетраэдрит; пирротин; Дrajное.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-57-63





MINERALOGY OF THE DRAZHNOYE GOLD ORE DEPOSIT, THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

V.YU. CHIKATUEVA^{1,2}, S.A. SITKEVICH²

¹Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
e-mail: v.chikatueva@igeotech.ru

²LLC «Institute of geotechnology»
bld. 77, 1, Leninskie Gory, Moscow 119234, Russian Federation
e-mail: s.sitkevich@igeotech.ru

New data on the mineral composition of the Drazhnoye gold deposit, located within the Taryn ore field, have been presented. The samples from the central and flank areas of the deposit, which characterize ore and barren zones, have been studied. Based on the detailed studies of the interrelationship and the form of mineral exhalations and their aggregates, the stages of mineral formation have been proposed, including two main stages: sediment-diagenetic and hydrothermal-metasomatic. It has been revealed that the main precipitator of early native gold was pyrrhotite, which later, with an increase in fugacity of sulfur, was almost replaced by later pyrite. At the end of hydrothermal-metasomatic stage, native gold is formed from gold-bearing solutions and is located often in quartz-carbonate veinlets as independent precipitates, less commonly associated with polymetallic minerals, pyrite and arsenopyrite. Previous researchers of the Drazhnoye deposit established its genetic relationship with hydrothermal solutions. The data obtained confirm this. According to the type of gold ore mineralization and the type of prospective deep source of solution, this field is previously attributed to a hydrothermal pluton-related gold — quartz formation.

Keywords: gold deposit; gold; tetrahedrite; pyrrhotite; Drazhnoye.

Месторождение Дразное расположено в пределах Тарынского рудного поля и относится к малосульфидному золотокварцевому типу. Изучение минерального состава руд имеет важное значение для уточнения формационного типа и условий формирования месторождения, что в последующем может быть использовано при прогнозе расположения новых рудных тел. Ранее минеральный состав руд месторождения Дразное был изучен не в полной мере [2, 5].

Краткая характеристика месторождения

Район месторождения Дразное находится в зоне сочленения Аян-Юряхского антиклинория и Адыча-Тарынской антиклинальной зоны. Месторождение расположено в пределах северо-восточного крыла и южного замыкания Мало-Тарынской синклинали, сложенной алевропесчаниками и алевролитами триаса и нижней юры, и приурочено к зоне Адыча-Тарынского глубинного разлома северо-западного простирания [11]. Вдоль глубинного разлома сконцентрированы многочисленные золотосурьмяные и золотокварцевые месторождения, такие как Тан, Малтан, Сана, Жданное и др. (рис. 1).

Рудные тела приурочены к прослоям березитизированных алевропесчаников [5]. Они заключены в горизонтальных и пологонаклонных кварцевых штоках, которые вытянуты в север—северо-западном направлении и ограничены крутопадающими дорудными разломами или пересекают их. Жильно-прожилковые тела с золоторудным

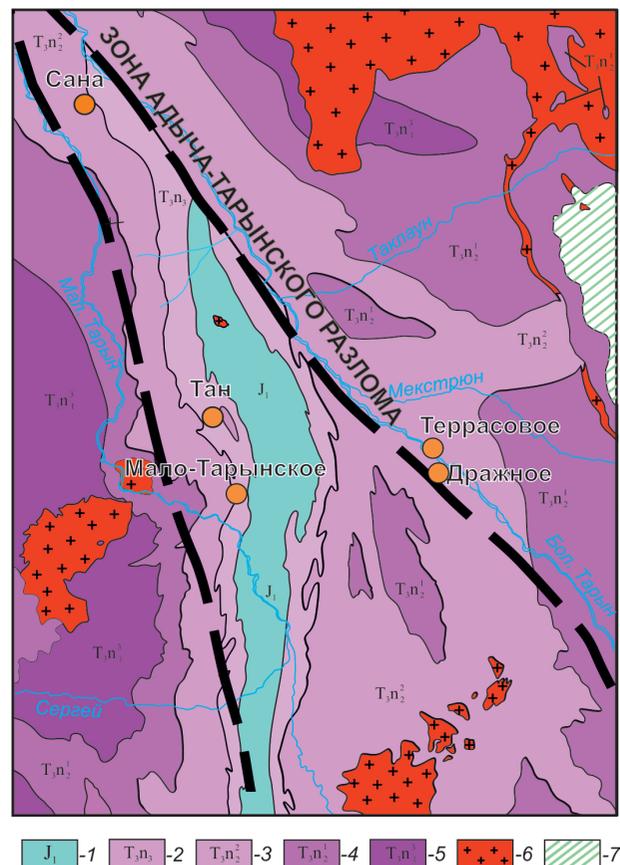


Рис. 1. Структурно-геологическая карта участка Тарынского рудного поля: 1 – алевритово-сланцевые отложения, 2 – алевритово-песчанниковые отложения, 3 – песчанниковые отложения, 4 – алевролитово-песчанниковые отложения, 5 – песчанниково-алевролитовые отложения, 6 – массивы гранитов колымского комплекса, 7 – субвулканические образования гиперстеновых дацитов



оруденением ориентированы косо по отношению к складчатым структурам и нередко наследуют до-рудные складчатые разломы [11]. В прожилках с рудной минерализацией часто встречаются анкерит, серицит и изредка хлорит. На долю карбонатов приходится от 1—2 до 40% жильного выполнения. Количество рудных минералов в прожилках от 0 до 5—10%, в редких случаях 90—100%. Пострудные прожилки в большинстве случаев имеют хлорит-кварцевый и кварц-кальцитовый составы.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили образцы, отобранные во время полевых работ 2015—2016 гг. Из 23 скважин, пробуренных в центральной и фланговых частях участка Дrajный, были равномерно отобраны образцы, характеризующие рудные и безрудные зоны. Всего изучено 120 шлифов. С целью уточнения химического состава минеральных фаз выполнено 142 анализа на сканирующих электронных микроскопах JEOL JSM-6480LV, кафедры петрологии МГУ им. М.В. Ломоносова (аналитик Н.Н. Кошлякова) — ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 10 нА, время накопления сигнала 100 с), JEOL JXA-8100 отдела ФГБУ «ВИМС» (аналитик А.А. Киселев) — ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 5 нА, время накопления сигнала 100 с), Jeol JSM-6400 Института геологии Коми НЦ УрО РАН (аналитик В.Н. Филиппов) — ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 20 нА, время накопления сигнала 60 с).

Результаты исследования

Главными рудными минералами месторождения Дrajное являются пирит и в меньшей степени арсенопирит. В значительно меньших количествах присутствуют сфалерит, халькопирит, пирротин, блеклая руда (тетраэдрит) и золото, ещё реже встречаются бурнонит, буланжерит, галенит, марказит, рутил, ильменит, лейкоксен, магнетит, глаукоdot, герсдорфит и ульманит.

Изучение взаимоотношения и форм выделений минералов и их агрегатов на золоторудном месторождении Дrajное позволило выделить следующие минеральные ассоциации.

1-я минеральная ассоциация была выделена условно и представлена наиболее ранним минералом на месторождении — *пиритом первой разновидности (пирит-I)*. Он образует неравномерную вкрапленность во вмещающих породах. Морфология выделений различная: тонкозернистые ксеноморфные зёрна, кубические кристаллы, фрамбоиды, которые нередко образуют

стяжения разных очертаний. Иногда отмечают псевдоморфозы пирита-I по органическим остаткам и в срastании с углеродистым веществом. По данным рентгеновского микроанализа в минерале присутствует примесь мышьяка от 1,2 до 2,63 мас. %.

Арсенопирит-I чаще представлен призматическими кристаллами, реже ксеноморфными зёрнами, содержит незначительные примеси Ni и Sb. На интервалах с повышенными содержаниями золота минерал содержит включения пирротина и халькопирита размером до 0,08 мм (рис. 2). Ксеноморфные включения пирротина содержат примеси Ni 0,3—0,42 мас. %.

Герсдорфит начинал кристаллизоваться, вероятно, несколько позднее пирита-II, так как иногда частично замещает его. Кристаллы приурочены к кварц-карбонатным прожилкам, редко в них ассоциируют с включениями сидерита. Он слагает кубические, октаэдрические кристаллы и зёрна неправильной формы. В изученных образцах выявлено несколько разновидностей герсдорфита, различающихся особенностями состава: 1) железо-кобальтовый с содержанием Fe 9,5 — 4,3, Co 1—3 мас. %; 2) сурьмяно-железистый Sb 4,79—17,6, Fe 3,6—8,73 мас. %; 3) железо-кобальт-теллуристый — Fe 12,9, Co 4,91 и Te около 2 мас. %. Обычно герсдорфит ассоциирует с пиритом, изредка с ульманитом.

Сфалерит, как правило, представлен самостоятельными выделениями во вмещающих породах, часто встречается в виде включений в пирите-II и арсенопирите.

Минералы *3-й минеральной ассоциации* развиты преимущественно в кварц-карбонатных прожилках, реже наблюдаются в карбонатной матрице метасоматически измененных пород, по трещинам катаклаза пирита-II и раннего арсенопирита.

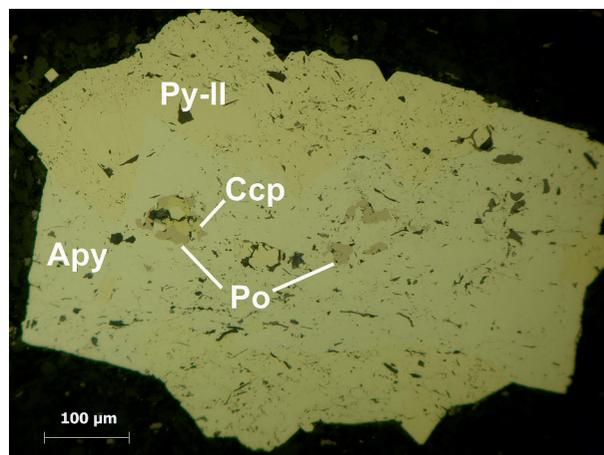


Рис. 2. Срastание арсенопирита (Apy) с включениями халькопирита (Csp), пирротина (Po) и пирита-II (Py-II)



Наиболее распространёнными минералами являются пирит и арсенопирит. Пирит представлен двумя разновидностями. *Пирит третьей разновидности (пирит-III)* локализован исключительно в карбонатных и кварц-карбонатных прожилках. В образцах и под оптическим микроскопом он с трудом отличается от более позднего *пирита-IV*, так как повсеместно обрастает им. Однако пирит-III отчётливо выделяется при структурном травлении и электронно-зондовых исследованиях. Для него характерны вытянутые, длиннопризматические формы выделения (рис. 3). В пирите-III не выявлено примеси As, но присутствуют примеси Ni (от 0,19 до 1,03 мас. %) и Co (около 0,5 мас. %). Из-за отсутствия As, на фотографиях в отражённых электронах минерал выделяется сравнительно тёмным тоном (рис. 3, б). При травлении зёрна минерала распадаются на многочисленные длиннопризматические выделения, расположенные перпендикулярно удлинению зерна (рис. 3, в). Во всех изученных аншлифах золото в виде включений приурочено именно к пириту-III и часто находится в ассоциации с пирротином, халькопиритом, галенитом и тетраэдритом. Вероятно, пирит-III был образован при повышении фугативности S (fS_2), в результате повсеместно происходило замещение раннего пирротина более поздним пиритом-III [6].

Пирит четвертой разновидности (пирит-IV) распространен как во вмещающих породах, так и в прожилках. Как было отмечено выше, он обрастает пирит-III (рис. 3, б, в). Минерал представлен кубическими, реже пентагон-додекаэдрическими кристаллами. Особенностью данной разновидности является слабая, но отчётливая цветная анизотропия зёрен, которая, вероятно, обусловлена значительными содержаниями мышьяка [6]. Концентрация As в пирите-IV от 1 до 3,6, Ni от 0,08 до 0,53 и Co от 0,09 до 0,52 мас. %. Пирит-IV нередко корродирует зёрна более раннего арсенопирита, иногда находится в сростании с марказитом.

Арсенопирит-II представлен ксеноморфными зёрнами, коротко- и длиннопризматическими кристаллами. Включения золота в арсенопирите практически не встречаются, за исключением единичного зерна. Состав арсенопирита выдержанный, без примесей.

Халькопирит имеет крайне разнообразные формы выделения. Он нередко находится в сростании или замещается более поздними тетраэдритом и бурнонитом (рис. 4, а). В минерале присутствуют примеси Zn (от 1,06 до 11 мас. %), Co (0,23 мас. %), As (до 0,1 мас. %), в зёрнах, ассоциирующихся с сульфосолями и золотом, также выявлены повы-

шенные содержания Cd (0,05 мас. %), In (0,18 мас. %), Sn (0,2 мас. %), Sb (0,16 мас. %).

Пирротин представлен: 1) включениями в пирите-III в ассоциации с халькопиритом, тетраэдритом и золотом; 2) ксеноморфными выделениями в ассоциации с халькопиритом и золотом,

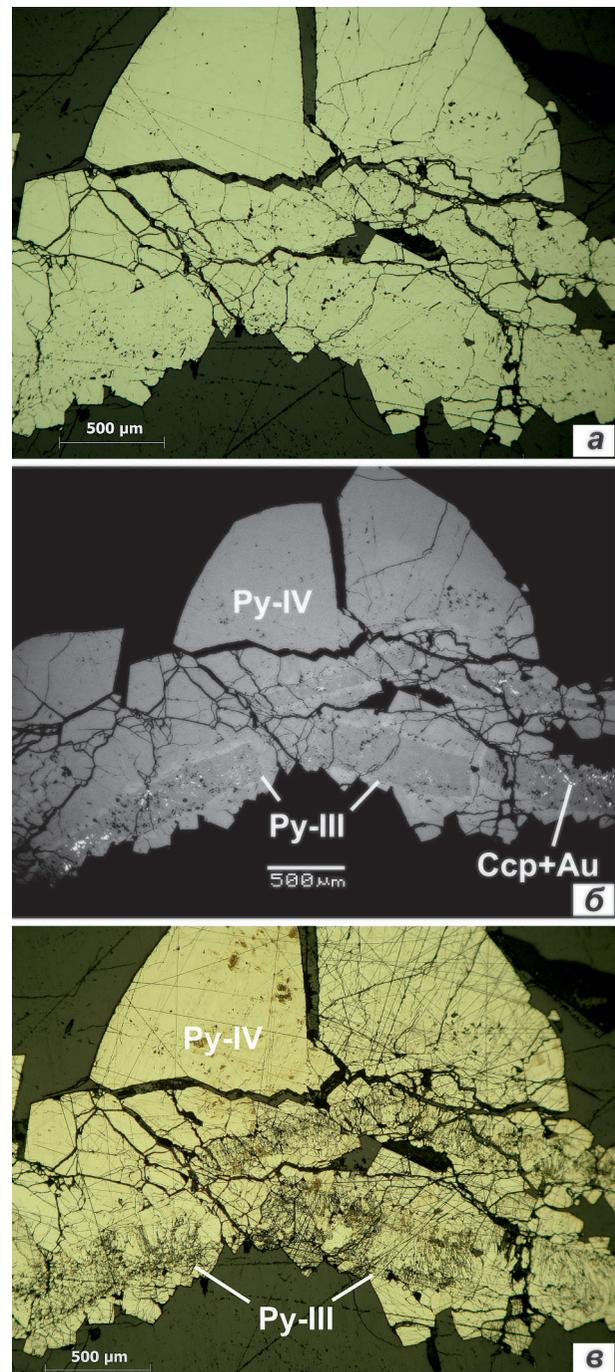


Рис. 3. Скопление зёрен пирита-III и пирита-IV: а – фото под микроскопом, б – фото в отражённых электронах, в – фото под микроскопом после структурного травления: Py-III – пирит-III, Py-IV – пирит-IV, Au – золото, Ssr – халькопирит

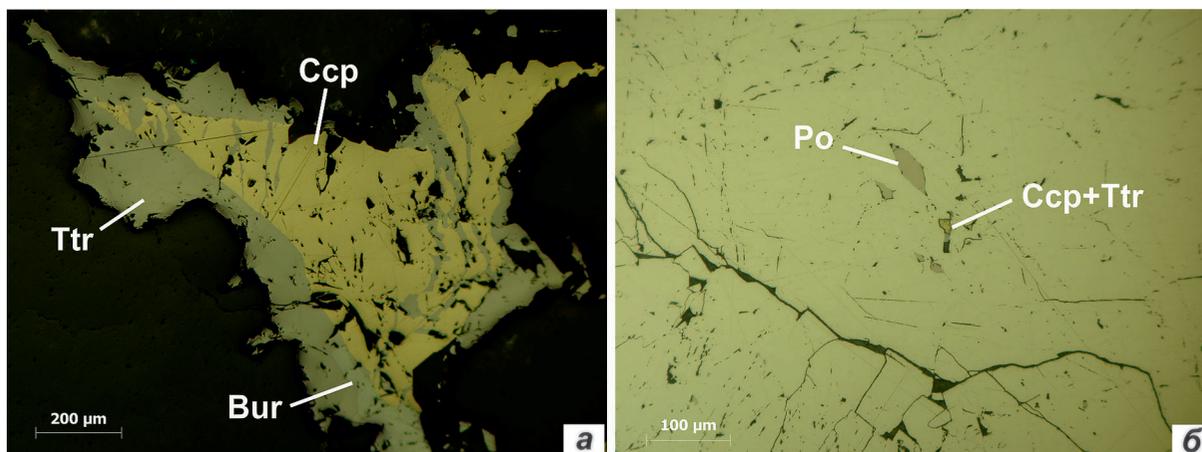


Рис. 4. *a* – структура замещения тетраэдритом (Ttr) более ранних халькопирита и бурнонита (Bur), *б* – включения пирротина, халькопирита и тетраэдрита в пирите-III

приуроченными к трещинам катаклаза по пириту-II. Включения пирротина в пирите-III имеют угловатую форму выделения (рис. 4, б). При изучении минерала в отраженных электронах и при травлении зёрен пирита-III выявлено закономерное распределение угловатых включений пирротина перпендикулярно удлинению зерна пирита-III.

Сфалерит второй минеральной ассоциации часто содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита или находится в сростании с ним и тетраэдритом. Минерал содержит примеси: Fe от 1,1 до 5,7, Cu 0,6 до 1,24, Cd 0,05 до 0,24, Sb до 0,2 мас. %.

Галенит имеет незначительное распространение и представлен самостоятельными выделениями неправильной формы в кварц-карбонатных прожилках, где нередко находится в ассоциации или в сростании с халькопиритом, бурнонитом, и замещается буланжеритом.

Тетраэдрит обычно приурочен к кварц-карбонатным прожилкам, реже встречается по трещинам пирита-II в ассоциации с халькопиритом и золотом. Формы выделения, как и у халькопирита, достаточно разнообразны. Тетраэдрит зачастую замещает более ранние бурнонит и халькопирит (рис. 4, а). Зёрна тетраэдрита однородны по составу, что указывает на их формирование в упорядоченных условиях при постепенном снижении температуры [10]. В составе тетраэдрита выявлены примеси As до (1 мас. %), Zn до 6,93, Fe до 5,9, Ag до 3,57 и Pb до 3,09.

Бурнонит в изученных образцах месторождения встречается чаще, чем буланжерит. Оба минерала имеют незначительное распространение и пространственно ассоциируют исключительно с рудными интервалами. Форма зёрен бурнонита ксеноморфная либо игольчатая. *Буланжериту*

свойственны игольчатые кристаллы, реже ксеноморфные выделения. Размер зёрен бурнонита и буланжерита варьирует от нескольких сотых миллиметра до 0,3 мм.

Ульманит и *глаукоdot* в изученных образцах отмечаются крайне редко. *Ульманит* образует ксеноморфные выделения и кубические кристаллы в ассоциации с сульфосолями. По химическому составу однороден, выявлены незначительные вариации примесей: As от 3,68 до 6,42 мас. %, Fe от 0,96 до 1,81 мас. %. *Глаукоdot* представлен ксеноморфными выделениями (до 0,01 мм) в сростании с пиритом, и приурочен к карбонатам в метасоматически изменённых породах. В глаукоdotе иногда присутствуют включения золота.

Самородное золото на месторождении распределено крайне неравномерно. В изученных образцах оно представлено: 1) включениями в пирите-III; 2) зёрнами, приуроченными к трещинам по пириту-II в прожилках, реже во вмещающих метасоматически изменённых породах; 3) самостоятельными выделениями в жильно-прожилковых телах. На месторождении самородное золото в большей степени представлено самостоятельными выделениями. Проба золота не различается для указанных выше разновидностей зёрен и изменяется от 820 до 893 %, единичные зёрна содержат примесь ртути до 1,5 мас. %.

Золото в зёрнах пирита-III имеет интерстициальные, комковидные формы выделения. Оно ассоциирует с пирротинном, халькопиритом, галенитом и тетраэдритом. Размер выделений варьирует от первых тысячных до 0,035 мм. Самостоятельные выделения золота, как правило, приурочены к ослабленным зонам (микротрещинам) в кварцевых прожилках, либо локализованы в карбонатной матрице кварц-карбонатных прожилков, цемен-



тируют зёрна пирита-IV и позднего арсенопирита. Минерал пространственно связан с тетраэдритом, буланжеритом, бурнонитом, изредка галенитом. Морфология зёрен золота — интерстициальная, угловатая, размер от 0,06 до 1,5 мм.

Обсуждение результатов

На основе изучения взаимоотношения и формы выделения минеральных индивидов и их агрегатов на золоторудном месторождении Дразное предварительно выделяется два основных этапа минералообразования: осадочно-диагенетический и гидротермально-метасоматический (таблица).

К первому этапу (осадочно-диагенетическому) отнесён пирит-I. Он имеет широкое распространение в слабометаморфизованных комплексах осадочных пород. Вероятно, фрамбоиды были образованы на стадии диагенеза или раньше — во время осадконакопления [4]. В составе гидротермально-метасоматического этапа выделены три стадии, характеризующиеся различными минеральными ассоциациями: 1) ранняя сульфидная; 2) полисульфидная; 3) продуктивная. Ранняя сульфидная минеральная ассоциация представлена минералами ранних метасоматических изменений, на что указывает наличие в метакристаллах пирита-II и арсенопирита-I включений реликтов фрамбоид-

дального пирита и текстур породы [1]. Полисульфидная стадия на ранней ступени представлена пирротинном, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и ранним самородным золотом. Основным осадителем раннего самородного золота изначально являлся пирротин. Позже, в позднюю стадию, при повышении fS_2 и активности Sb, пирротин был практически полностью замещён пиритом-III, в результате реакции замещения формируются бурнонит, тетраэдрит, реже буланжерит. Кристаллизуются арсенопирит-II, глаукодот и ульманит. В продуктивный этап из золотосодержащих растворов отлагалось позднее самородное золото.

Заключение

Ранее исследователи месторождения Дразное установили его генетическую связь с гидротермальными растворами [3]. Это подтверждается результатами термобарогеохимических исследований, которые показали, что кварц месторождения сформирован в мезотермальных условиях на глубинах 3—4 км ($230 \pm 50^\circ\text{C}$; 900 ± 100 бар) из углекислотно-водных флюидов с широкими вариациями солёности (2,6—9,3 мас. % · экв. NaCl), содержащих в небольшом количестве метан [3]. Полученные новые данные о минеральном составе руд и составе отдельных минералов косвенно подтвержда-

Последовательность минералообразования на месторождении Дразное

Минералы	Осадочно-диагенетический этап	Гидротермально-метасоматический этап			
		Ранняя стадия (ранние сульфиды)	Полисульфидная стадия		Продуктивная стадия
			Ранняя ассоциация	Поздняя ассоциация	
Пирит					
Арсенопирит					
Пирротин					
Халькопирит					
Сфалерит					
Тетраэдрит					
Бурнонит					
Буланжерит					
Галенит					
Ульманит					
Герсдорфит					
Глаукодот					
Золото					
Рутил					
Ильменит					
Магнетит					



ют это. По типу золоторудной минерализации и предполагаемого глубинного источника данное месторождение предварительно можно отнести к гидротермально-плутоногенной золото-кварцевой формации [6, 7, 9, 10]. Нередко минеральный состав руд гидротермальных плутоногенных месторождений в значительной мере обусловлен составом рудовмещающих толщ [8]. Наряду с пиритом и арсениопиритом, обычными для месторождений

золота в черносланцевых толщах (Наталкинское, Олимпиадинское, Сухой Лог и т. д.), рудные тела месторождения Дразное содержат пирротин, минералы Ni и Co (ульманит, глаукоцит и герсдорфит), а также бурнонит и буланжерит. Присутствие среди рудных фаз минералов, в качестве главных катионов содержащих элементы группы железа, указывает на вероятное наличие на глубине магматических пород основного или ультраосновного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Б.С. Пирит золоторудных месторождений. М.: Наука, 1992. 143 с.
2. Аристов В.В. Перспективы выявления крупных богатых золото-кварцевых месторождений в Тарынском рудно-россыпном узле // Разведка и охрана недр. 2009. № 6. С. 3–11.
3. Аристов В.В., Прокофьев В.Ю., Имамендинов Б.Н., Кряжев С.Г., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А. Особенности рудообразования на золото-кварцевом месторождении Дразное (Восточная Якутия, Россия) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464. № 1. С. 65–70.
4. Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Хувер Р. Фрамбиды: их структура и происхождение // Палеонтологический журнал. 2005. № 5. С. 1–7.
5. Золоторудные месторождения России / Ред. М.М. Константинов, М.: Акварель, 2010. С. 136–142.
6. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во. ИЛ, 1962. 1132 с.
7. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982. 688 с.
8. Спиридонов Э.М. Зависимость минерального состава плутоногенных гидротермальных месторождений золота от состава вмещающей среды // Доклады Академии наук. 1998. Т. 363. С. 1–3.
9. Спиридонов Э.М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции, посвященной 80-летию Кольского НЦ РАН, «Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов», М.: Изд-во К & М, 2010, С. 143–171.
10. Филимонов С.В. Минералы группы блеклых руд — индикаторы рудогенеза (на примере гидротермальных месторождений золота). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2009. 45 с.
11. Читалин А.Ф., Воскресенский К.И., Гришин Е.М. и др. Структурно-кинематическая модель золоторудного месторождения Дразное // Геофизика. 2018. № 3. С. 106–114.

REFERENCES

1. Andreev B.S. *Pirit zolotorudnykh mestorozhdeniy* [Pyrite of gold deposits.] Moscow, Nauka Publ., 1992, 143 p. (in Russian)
2. Aristov V.V. Perspektivy vyavleniya krupnykh bogatykh zolotokvartsevykh mestorozhdeniy v Tarynskom rudno-rossypnom uzle [Potential for discovery of large high grade gold-quartz deposits in Taryn ore-placer district.]. *Razvedka i okhrana neдр — Prospect and protection of mineral resources*, 2009, no. 6, pp. 3–11. (in Russian)
3. Aristov V.V., Prokofiev V.Y., Alekseev V.Y., Sidorov A.A., Imamendinov B.N., Kryazhev S.G. Osobennosti rudoobrazovaniya na zoloto-kvartsevom mestorozhdenii Drazhnoye (Vostochnaya Yakutiya, Rossiya) [Ore-forming processes in the Drazhnoe gold-quartz deposit (Eastern Yakutia, Russia).]. *Doklady Earth Science*, 2015, т. 464, no. 1, pp. 879–884. (in Russian)
4. Astafieva M.M., Rozanov A.Yu. *Framboidy: ikh struktura i proiskhozhdeniye* [Hoover R. Framboids: Their structure and origin.]. *Paleontologicheskii zhurnal — Paleontological Journal*, 2005, no. 5, pp. 1–7. (in Russian)
5. *Zolotorudnyye mestorozhdeniya Rossii* [Gold deposits of Russia.]. Ed. M.M. Konstantinov. Moscow, Acvarel Publ., 2010, pp. 136–142. (in Russian)
6. Ramdor P. *The Ore Minerals and their Intergrowths*. 1962, 1132 p. (in Russian)
7. Smirnov V.I. *Geologiya poleznykh iskopayemykh* [Geology of minerals.]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 688 p. (in Russian)
8. Spiridonov E.M. Zavisimost' mineral'nogo sostava plutonogennykh gidrotermal'nykh mestorozhdeniy zolota ot sostava vmeshchayushchey sredy [Dependence of the mineral composition of pluton-related gold deposits on the composition of the host medium.]. *Doklady Earth Science*, 1998, т. 363, pp. 1–3. (in Russian)
9. Spiridonov E.M. Obzor mineralogii zolota v vedushchikh tipakh Au mineralizatsii [Complication of the data on the gold mineralogy of the leading types of the gold mineralization.]. *Trudy Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu Kol'skogo NTS RAN, «Zoloto Kol'skogo poluostrova i sopredel'nykh regionov» — [Proceedings of the All-Russian (with international participation) scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the Kola National Academy of Sciences, «Gold of the Kola Peninsula and adjacent regions»]. Moscow, K & M Publ., 2010, pp. 143–171. (in Russian)*
10. Filimonov S.V. *Mineraly gruppy bleklykh rud — indikatory rudogeneza (na primere gidrotermal'nykh mestorozhdeniy zolota)*. Diss. kan. geol.-min. nauk [Minerals of the group of fahl ore — indicators of ore genesis (on the example of hydrothermal gold deposits)]. PhD geol.-min. sci. diss.]. Moscow, 2009, 45 p. (in Russian)
11. Chitalin A.F. and other. *Strukturno-kinematicheskaya model' zolotorudnogo mestorozhdeniya Drazhnoye* [The structural kinematical model of gold Drazhnoe deposit]. *Geofizika — Geophysics*, 2018, no. 3, pp. 106–114. (in Russian)

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

УДК 622.24.051

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО
ВНЕЦЕНТРЕННОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ***

V.V. NESKOROMNYKH, A.E. GOLOVCHENKO, M.S. POPOVA

*Институт горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета
79, Свободный пр., Красноярск 660041, Россия
email: antong77@yandex.ru*

Ударно-вращательное бурение скважин пневмоударниками — перспективный, высокопроизводительный способ, широко используемый в практике геолого-разведочных работ, производительность которого определяется в основном давлением и количеством подаваемого компрессором очистного агента. Параметры серийно выпускаемых компрессоров высокого давления не позволяют производить бурение на глубине более 300 м, что является одним из главных сдерживающих факторов практического применения в производственных условиях. Одним из способов повышения производительности процесса ударно-вращательного бурения скважин, а вместе с тем и предельной глубины буримых скважин является совершенствование механизма разрушения горных пород приложением внецентренных ударных импульсов к буровому инструменту, что позволит более активно реализовать тангенциальную составляющую ударного импульса, оказывающую влияние на форму и объёмы формируемых лунок разрушения, обеспечивая дополнительное скалывание породы в направлении плоскости забоя. Рассмотрены пути совершенствования известных конструкций долот для ударно-вращательного бурения скважин, реализующих внецентренное приложение ударных импульсов, вопросы геометрического обоснования формы эксцентричного выступа на торовой шайбе бурового долота для ударно-вращательного бурения и колебаний торовой шайбы при передаче внецентренных ударных импульсов с точки зрения повышения долговечности конструкции и точности передачи внецентренных ударных импульсов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бурение; производительность; эксцентриситет; удар; разрушение; горная порода.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-64-69

**MODERNIZATION OF ROCK-CUTTING TOOL
FOR ROTARY-PERCUSSION DRILLING THAT IMPLEMENTS
ECCENTRIC APPLICATION OF IMPACT PULSES**

V.V. NESKOROMNYKH, A.E. GOLOVCHENKO, M.S. POPOVA

*School of Mining, Geology and Geotechnology of the Siberian Federal University
79, Svobodnyj pr., Krasnoyarsk 660041, Russia,
email: antong77@yandex.ru*

Rotary percussion drilling with pneumatic hammers is a promising, high-performance method widely used in the practice of geological exploration, the performance of which is determined mainly by pressure and the amount of cleaning agent supplied by the compressor. The parameters of commercially available high-pressure compressors do not allow drilling at a depth of more than 300 meters, which is one of the main limiting factors of its practical application in production conditions. One of the ways to improve the performance of the rotary-percussion drilling of wells, and at the same time the maximum depth of drilled wells is to improve the mechanism of rock destruction by applying eccentric impact pulses to the drilling tool, which will make it possible to implement more actively the tangential component of the impact pulse that affects the shape and the volumes of the fracture holes being formed, providing additional splitting of the rock in the direction of the rock face. The paper discusses the ways



to perfect the known designs of bits for rotary-percussion drilling of wells implementing eccentric application of impact impulses, issues of geometric substantiation of the shape of an eccentric protrusion on a drill bit torus shim for rotary-percussion drilling and oscillations of torus shim when transmitting eccentric impact pulses from the point of view of enhancement durability of a construction and accuracy of transfer of eccentric impact pulses.

К е y w o r d s: drilling; productivity; eccentricity; impact; destruction; rock.

Одним из наиболее перспективных способов бурения скважин различного назначения является ударно-вращательный с применением погружных пневмоударных машин — способ, широко используемый в горном деле, геологоразведке, бурении скважин на воду, строительстве дорог и других буровых работах по всему миру [5, 8, 13]. По критерию механической скорости ударно-вращательного бурения является одним из наиболее перспективных способов благодаря высоким скоростям проходки скважин. Оптимальная область применения ударно-вращательного бурения — скважины различного целевого назначения глубиной до трёхсот метров, что является одним из главных сдерживающих факторов его практического применения в производственных условиях [7, 9, 12].

Производительность пневмоударного бурения определяется давлением и количеством нагнетаемого воздуха или газожидкостной смеси, частотой ударов забойной пневмоударной машины, частотой вращения бурового снаряда и осевой нагрузкой. Осевая нагрузка при ударно-вращательном бурении довольно пассивный параметр, мало влияющий на механическую скорость и в большей степени предотвращающий отскакивание долота от забоя скважины, а частота вращения обеспечивает определенную схему поражения забоя. Разрушение горных пород при пневмоударном бурении является сложным многофакторным параметром [1, 6, 10, 11].

Одним из способов повышения производительности ударно-вращательного бурения скважин является изменение реализуемого механизма разрушения горных пород — нанесение не осевых ударных импульсов, а внецентренных (смещённых от осевого положения на некоторое расстояние).

В [4] приведены первые результаты опытного определения объёма разрушаемой внецентренными ударными импульсами горной породы, где показана возможность повышения производительности при применении данного способа разрушения горных пород.

При нанесении удара с эксцентриситетом к осевому внедрению индентора добавляется его тангенциальное смещение под действием формирующейся суммарной тангенциальной составляющей наносимого ударного импульса, в то время как при нанесении центрального ударного импульса тангенциальные составляющие компенсируют один другой и реализуются нормальные, перпендикулярные к плоскости забоя напряжения

[2]. Схема передачи ударных импульсов и создания напряжений под породоразрушающими вставками при точечном ударе представлена на рис. 1. Следует отметить, что с увеличением эксцентриситета приложения удара нормальное напряжение, создающее задел для скалывания породы забоя, падает пропорционально квадрату косинуса угла дельта. Согласно полученным экспериментальным данным оптимальные величины эксцентриситета приложения удара, как правило, не превышают 1 мм, соответственно выше обозначенное падение не составляет более 1,5% и не оказывает существенного негативного влияния на получаемые объёмы разрушения горных пород.

С целью практической реализации механизма разрушения горных пород внецентренными ударными импульсами ведётся разработка породоразрушающего инструмента и забойной ударной машины, способных реализовывать механизм с целью повышения производительности разрушения горных пород и управления направлением скважин [2, 3].

Для бурения в горных породах средней твёрдости, с применением серийно выпускаемых погружных пневмоударных машин, разработана конструкция долота, реализующего передачу внецентренных ударных импульсов, защищённая патентом РФ 2682824 [3].

Для передачи внецентренных ударных импульсов конструкция долота оснащена торовой шайбой 1, преобразующей центральный ударный импульс, воспринимаемый шайбой верхним торцом, во внецентренный, передаваемый эксцентричным выступом 2, расположенным на нижнем торце торовой шайбы, далее хвостовику долота 5. Фиксация торовой шайбы на хвостовике долота производится путём навинчивания фиксирующей шайбы 3.

Важно отметить, что наряду с положительным влиянием внецентренного нанесения ударных импульсов на производительность процесса разрушения горных пород, существует и отрицательное, заключающееся в формировании деструктивного изгибающего момента, отрицательно влияющего на долговечность конструкции:

$$M = P \cdot e,$$

где P — сила удара, Н; e — эксцентриситет приложения удара (расположения выступа 2 на нижнем торце торовой шайбы 1), м.

Наличие торовой шайбы в конструкции долота, выполненной с возможностью поворота относи-

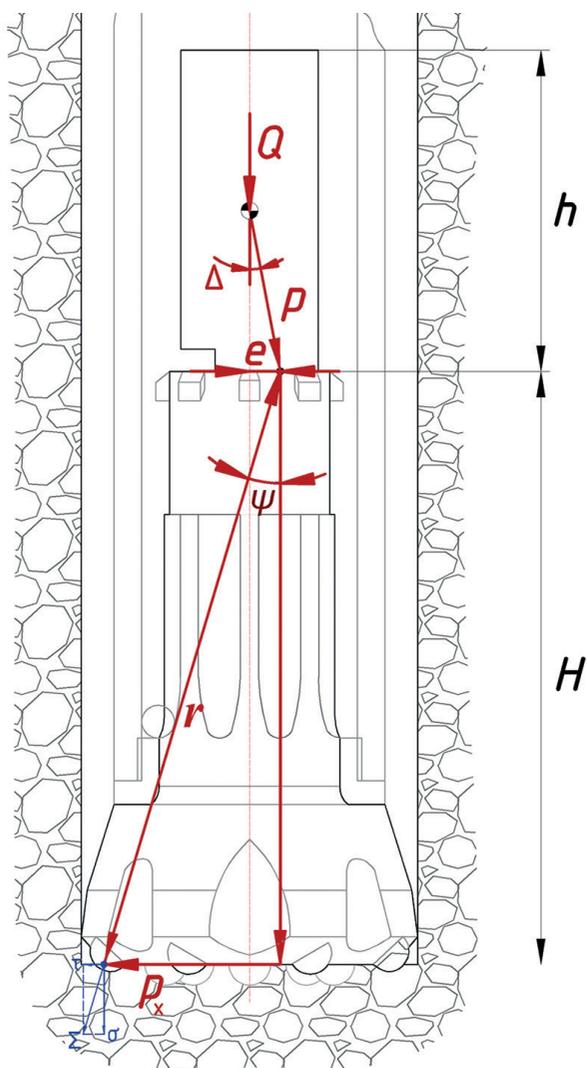


Рис. 1. Схема передачи ударных импульсов и создания напряжений под породоразрушающими вставками при точечном ударе: Q – вес ударника, H ; P – сила удара, H ; e – эксцентриситет приложения удара, m ; Δ – угол между осью инструмента и направлением ударного импульса, передаваемого от ударника к породоразрушающему инструменту, град.; h – высота ударника, m ; ψ – угол между осью инструмента и направлением движения ударного импульса от точки его приложения к породоразрушающему инструменту к породоразрушающей вставке, град.; r – расстояние от точки приложения ударного импульса к породоразрушающему инструменту до породоразрушающей вставки, m ; H – высота породоразрушающего инструмента, m ; P_x – суммарная составляющая тангенциального сдвигового усилия, H ; σ – нормальные напряжения, Pa ; τ – касательные напряжения, Pa ; Σ – суммарные напряжения, Pa

тельно оси, перпендикулярной оси долота, снимает деструктивный изгибающий момент с хвостовика долота, тем самым исключая деструктивную функцию внецентренного приложения ударных импульсов.

Внецентренный ударный импульс, сообщённый хвостовику торовой шайбой, передаётся головке долота, состоящей из подвижной 12 и не-

подвижной 7 частей, вызывая поворот подвижной полусферической части головки долота в плоскости нанесения внецентренного удара на некоторый угол β (зависящий от физико-механических свойств разрушаемых горных пород). Подвижная и неподвижная части головки долота связаны шарнирным элементом 8, а поддержание подвижной части головки долота в исходном положении и её возврат в него после окончания цикла разрушения производится с помощью упругого элемента 10. Для разрушения горных пород на забое подвижная часть головки долота содержит породоразрушающие элементы 13. Поскольку породоразрушающие элементы, которыми оснащена разрабатываемая конструкция долота, должны эффективно работать как при воздействии на горные породы с помощью удара высокой мощности, так и при некотором проскальзывании в плоскости забоя скважины, предположительно одной из оптимальных геометрических форм породоразрушающих элементов будет являться полусферическая.

Сборка подвижной и неподвижной частей головки бурового долота производится с помощью закрепления цилиндрической шайбы 9 на неподвижной части головки долота болтами 11. Поворот подвижной полусферической части головки долота увеличивает амплитуду тангенциальных смещений породоразрушающих элементов, реализуя тангенциальные ударные усилия, приводящие к изменению формы лунок разрушения, повышению их размеров и обеспечивающие отделение от забоя части массива горной породы, которая испытала разрушающее действие, разделена трещинами, но ещё удерживается в лунках разрушения силами своих внутренних связей. Величина тангенциального смещения породоразрушающих элементов 13 задается величиной угла β (рис. 2).

Оптимальной областью применения бурового долота для ударно-вращательного бурения (рис. 2) среднетвёрдые, в особенности пластичные горные породы. Данное обстоятельство связано главным образом с низкой эффективностью разрушения пластичных горных пород с использованием осевого удара, приводящего по большей части к уплотнению пород. При разрушении горных пород внецентренными ударными импульсами к нормальному осевому усилию добавляется тангенциальная составляющая, обуславливающая тангенциальное смещение породоразрушающих элементов, создавая подобие резания или скалывания горных пород (рис. 3).

В то же время, если мы говорим о породах, имеющих несколько более высокие прочностные показатели (оказывающих более значительное сопротивление тангенциальному смещению породоразрушаю-

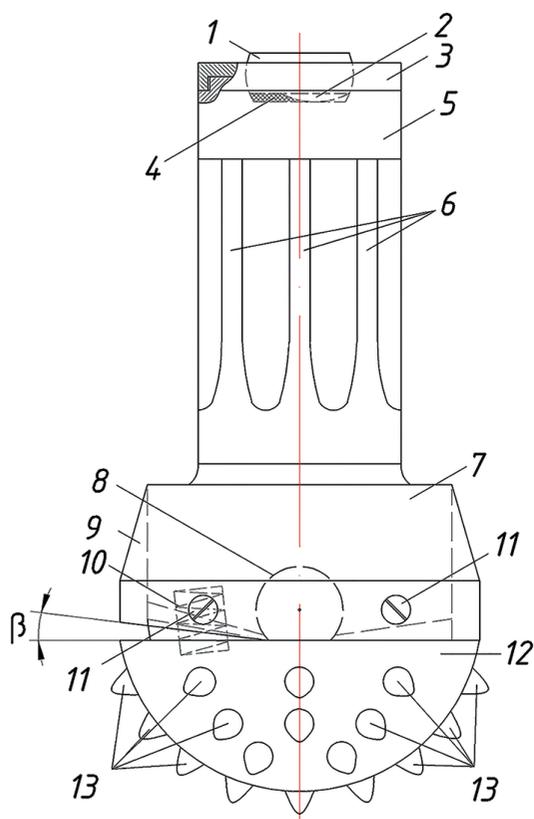


Рис. 2. Конструкция долота для ударно-вращательного бурения, реализующего передачу внецентренных ударных импульсов: 1 – торовая шайба; 2 – эксцентричный выступ; 3 – шайба фиксирующая; 4 – упругий материал; 5 – хвостовик; 6 – соединительные шлицы; 7 – неподвижная часть головки долота; 8 – шарнирный элемент; 9 – цилиндрическая шайба; 10 – упругий элемент; 11 – болты; 12 – подвижная часть головки долота; 13 – породоразрушающие элементы

щих элементов), то, вероятно, при их разрушении нет необходимости в больших тангенциальных смещениях породоразрушающих элементов. В таком случае конструкция долота, представленная на рис. 2, значительно упрощается, лишаясь шарнирного элемен-

та, связывающего подвижную и неподвижную части головки долота, упругого элемента, цилиндрической шайбы, болтов. Головка долота становится монолитной, что положительно сказывается на её прочностных характеристиках, при этом тангенциальные смещения породоразрушающих элементов сохраняются, имея значительно меньшую, но достаточную для увеличения объёмов разрушения горных пород амплитуду.

Несмотря на преимущества представленной на рис. 2 конструкции долота для ударно-вращательного бурения, реализующего внецентренное приложение ударных импульсов, она также имеет ряд вопросов, требующих более детальной проработки. В частности, к ним относятся вопросы геометрического обоснования формы эксцентричного выступа на торовой шайбе и колебаний торовой шайбы при передаче внецентренных ударных импульсов.

Как уже сказано ранее, функция торовой шайбы заключается в исключении деструктивной функции внецентренного удара, вызванной возникающим в конструкции изгибающим моментом M . С этой целью торовая шайба выполнена с возможностью поворота относительно оси, перпендикулярной оси породоразрушающего инструмента, формируя отскок шайбы после цикла передачи внецентренного ударного импульса (рис. 4, б).

Колебательное движение торовой шайбы вследствие нанесения ударного импульса и её отскока описывается следующим выражением:

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{r \cdot t}{2 \cdot m}} \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (1)$$

где A , t – координаты пространства и времени, A_0 – начальная амплитуда колебаний шайбы, ω – циклическая частота колебаний, r – сопротивление среды, m – масса шайбы.

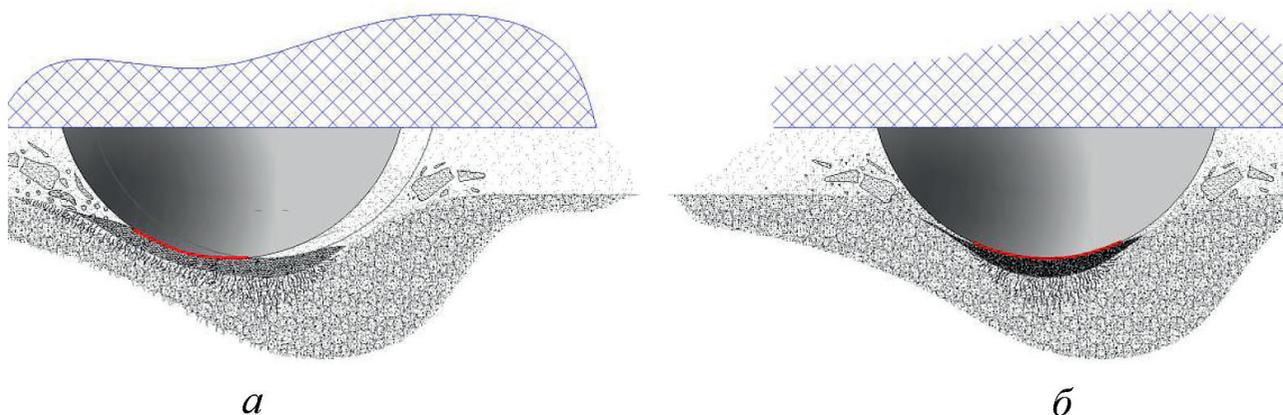


Рис. 3. Схема разрушения горных пород резцом при: а – внецентренном ударе; б – центральном ударе

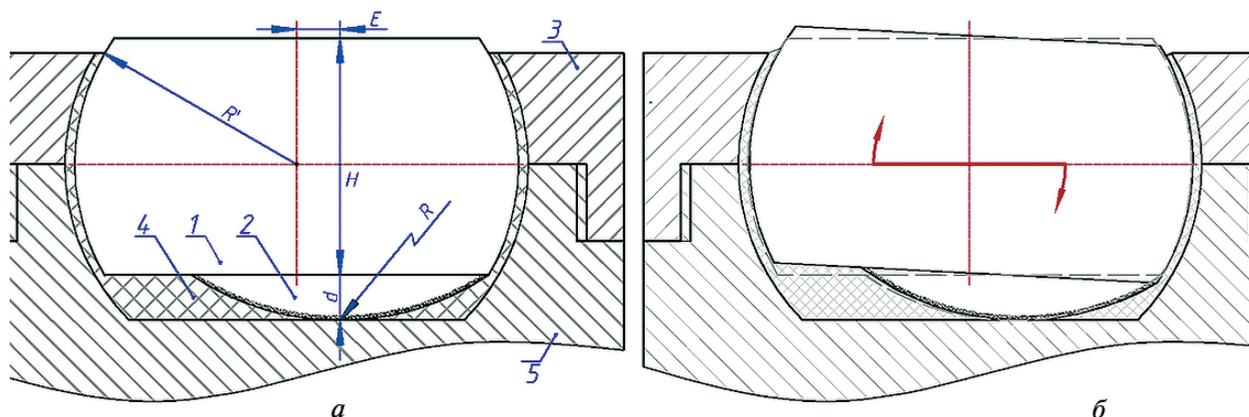


Рис. 4. Торговая шайба: а — основные геометрические характеристики; б — отскок шайбы после нанесения ударного импульса: 1 — торговая шайба; 2 — эксцентричный выступ; 3 — шайба фиксирующая; 4 — упругий материал; 5 — хвостовик

Согласно формуле (1), при повышении сопротивления среды r уменьшение амплитуды собственных колебаний торговой шайбы 1 (рис. 4, а) с течением времени будет проходить интенсивнее. С целью повышения эффективности гашения колебаний торговой шайбы долота зазор между торговой шайбой и её посадочным местом в хвостовике долота следует заполнять упругим материалом, предпочтительно резиной, не препятствующим отскоку шайбы при нанесении внецентренного удара (Положительное решение о выдаче патента на полезную модель от 14.06.2019, заявка 2019115771/03 от 22.05.2019). Также представленное техническое решение уменьшит вероятность перекоса торговой шайбы бурового долота после некоторого числа циклов передачи ударного импульса.

Геометрическое обоснование параметров эксцентричного выступа производится по критерию точности передачи внецентренного ударного импульса при износе выступа. Оптимально выполнение эксцентричного выступа на нижнем торце торговой шайбы долота в виде шарового сегмента радиусом (рис. 4, а):

$$R = \frac{\left(\sqrt{R'^2 - \left(\frac{H}{2}\right)^2} - E \right)^2 + d^2}{2d}$$

где R' — радиус шарового слоя торговой шайбы, м; H — высота торговой шайбы, м; E — эксцентриситет приложения удара, м; d — высота сегмента, м.

Выполнение эксцентричного выступа, согласно представленной геометрической зависимости, позволит добиться нанесения удара с заданной, неизменной при износе в ходе работы величиной эксцентриситета приложения точечного удара при различных величинах высоты и радиуса шарового слоя торговой шайбы и высоты сегмента.

Также с целью повышения твёрдости поверхности выступа рекомендуется поверхностное упрочнение эксцентричного выступа 2 на нижнем торце торговой шайбы 1 токами высокой частоты (рис. 4). При этом под твёрдой, закалённой поверхностью выступа останутся вязкие незакалённые слои металла, что уменьшит хрупкость детали, повысит износостойкость и циклическую прочность.

Разрушение горных пород внецентренными ударными импульсами — современный, прогрессивный механизм повышения производительности процесса ударно-вращательного бурения скважин. Практическая апробация механизма в лабораторных условиях показала малые величины оптимального эксцентриситета приложения удара — в большинстве случаев она не превышает 1 мм, находясь главным образом в зависимости от параметров ударной системы и физико-механических свойств горных пород. Последним препятствием перед практическим производственным испытанием долот, реализующих внецентренное приложение ударных импульсов, является анализ формируемых напряжений в конструкции при передаче эксцентричного удара с целью подбора оптимальных материалов изготовления долот, а также определения критических зон конструкции и их доработки.



ЛИТЕРАТУРА

1. В а с и л ь е в А.Н., Ш и ш л я е в В.В., К и р и л ь ч е н - к о А.В. Внедрение ударно-вращательного способа бурения и эффективных методов геолого-промысловых исследований при разведке метаноугольных месторождений // Разведка и охрана недр. 2014. № 7. С. 45–49.
2. Г о л о в ч е н к о А.Е. Исследование зависимости угла перекоса забоя от эксцентриситета приложения удара // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXII международного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2018. Т. 2. С. 497–499.
3. Нескоромных В.В., Головченко А.Е. Патент 2682824 Российская Федерация, МПК E21B 10/36 (2006.01). Буровое долото для ударно-вращательного бурения: 2018118680: заявл. 21.05.2018; опублик. 21.03.2019; заявитель СФУ. 6 с. : ил. Текст: непосредственный.
4. Н е с к о р о м н ы х В.В. Результаты экспериментальных исследований разрушения горных пород внецентренными ударными импульсами // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1999. № 6. С. 115–120.
5. Рябчиков С.Я., Храменков В.И., Брылин В.И. Технология и техника бурения геологоразведочных и геотехнологических скважин: учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. 514 с.
6. О п а р и н В.Н., Т и м о н и н В.В., К а р п о в В.Н. Количественная оценка эффективности процесса разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 6. С. 60–74.
7. Т и м о н и н В.В., К а р п о в В.Н. Оценка процесса разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении скважин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2016. Т. 2. № 3. С. 172–176.
8. B u C.G. Numerical simulation of impact on pneumatic DTH hammer percussive drilling // Journal of Earth Science. 2009. Vol. 20. N 5. P. 868–878.
9. K i v a d e S.B., M u r t h y Ch.S., V a r d h a n H. Laboratory Investigations on Percussive Drilling // Journal of The Institution of Engineers. 2013. Vol. 94. N 2.
10. S a a d a t i M. Granite rock fragmentation at percussive drilling — experimental and numerical investigation // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2014. Vol. 38. N 8. P. 562–569.
11. S a k s a l a T. 3D numerical modelling of bit-rock fracture mechanisms in percussive drilling with a multiplebutton bit // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2013. N 37. P. 309–324.
12. S o n g C., C h u n g J., C h o J., N a m Y. Optimal design parameters of a percussive drilling system for efficiency improvement // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. N 1. P. 1–13.
13. Z h a n g X., Z h a n g S., L u o Y., W u a D. Experimental study and analysis on a fluidic hammer — an innovative rotary-percussion drilling tool // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. N 4. P. 362–370.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.N., Shishljaev V.V., Kiril'chenko A.V. The introduction of rotary-percussion drilling method and effective methods of geological and field research in the exploration of methane-coal deposits. *Razvedka i ohrana nedr — Mineral exploration and protection*, 2014, no. 7, pp. 45–49. (in Russian)
2. Golovchenko A.E. The study of the dependence of the skew angle of the face on the eccentricity of the impact application. *Theses of XXIId session of International symposium Problems of geology and subsoil development*. Tomsk Publ., 2018, pp. 497–499. (in Russian)
3. Neskormnyh V.V., Golovchenko A.E. *Burovoe doloto dlja udarno-vrashhatel'nogo burenija* [Drill bit for rotary-percussion drilling]. Patent RF, no. 2682824, 2018. (in Russian)
4. Neskormnyh V.V. The results of experimental studies of the destruction of rocks by eccentric impact pulses. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geologija i razvedka — Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1999, no. 6, pp. 115–120. (in Russian)
5. Rjabchikov S.Ja., Hramenkov V.I., Brylin V.I. *Technology and technique for drilling exploration and geotechnological wells*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 514 p. (in Russian)
6. Oparin V.N. Timonin V.V., Karpov V.N. Quantitative assessment of the effectiveness of the process of destruction of rocks during rotary-percussion drilling of wells. *Fiziko-tehnicheskie problem razrabotki poleznyh iskopaemyh — Journal of Mining Science*, 2016, no. 6, pp. 60–74. (in Russian)
7. Timonin V.V., Karpov V.N. Assessment of the destruction of rocks during shock-rotary drilling. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk — Journal of Fundamental and Applied Mining Sciences*, 2016, T. 2, no. 3, pp. 172–176. (in Russian)
8. Bu C.G. Numerical simulation of impact on pneumatic DTH hammer percussive drilling. *Journal of Earth Science*, 2009, vol. 20, no. 5, pp. 868–878.
9. Kivade S.B., Murthy Ch.S., Vardhan H. Laboratory Investigations on Percussive Drilling. *Journal of The Institution of Engineers*. 2013, vol. 94, no. 2.
10. Saadati M. Granite rock fragmentation at percussive drilling — experimental and numerical investigation. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2014, vol. 38, no. 8, pp. 562–569.
11. Saksala T. 3D numerical modelling of bit-rock fracture mechanisms in percussive drilling with a multiplebutton bit. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2013, no. 37, pp. 309–324.
12. Song C., Chung J., Cho J., Nam Y. Optimal design parameters of a percussive drilling system for efficiency improvement. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, no. 1, pp. 1–13.
13. Zhang X., Zhang S., Luo Y., Wua D. Experimental study and analysis on a fluidic hammer—an innovative rotary-percussion drilling tool. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2019, no. 4, pp. 362–370.



УДК 624.15

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВА БУРОВЫХ СВАЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ*

М.О. НЕПЛЕВСКИЙ

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

Рассмотрены параметры буровых скважин, в том числе глубина, диаметр, наклон, форма поперечного сечения, используемых в настоящее время для устройства буровых свай в условиях плотной городской застройки. Представлен обзор современных способов бурения скважин, используемых для устройства буровых свай. Предложена актуализированная классификация рассмотренных способов бурения скважин, учитывающая характер удаления разрушенной породы и движения бурового инструмента, тип применяемого бурового инструмента, а также способ крепления стенок скважины. Классификация по характеру удаления разрушенной породы выделяет способы, предусматривающие и не предусматривающие удаление разрушенной горной породы. По типу движения бурового инструмента выделяют вращательный, ударный и вибрационный способы, а также способ статического вдавливания. По типу применяемого бурового инструмента различают трубчатые оболочки с теряемым наконечником и уплотнителем грунта, шнеки транспортирующего и накопительного типов, ковшовые буры, колонковые трубы, специальные уширители, шарошечные, ударные и лопатные долота, рейферы. По способу крепления скважины существуют способы, предусматривающие и не предусматривающие крепление стенок скважины.

Ключевые слова: современные способы бурения скважин; буровые сваи; работы геотехнические специальные.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-70-75

MODERN DRILLING TECHNOLOGIES USED FOR THE MAKING BORED PILES UNDER THE CONDITIONS OF DENSE URBAN AREA

M.O. NEPLEVSKY

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

The parameters of drilling boreholes (including depth, diameter, angle of borehole inclination, cross-section) that are currently used for the making bored piles under the conditions of dense urban area, have been considered. The review about modern technologies of drilling boreholes used for making bored piles has been prepared. The updated classification of drilling technologies used for the making bored piles, which taking into account the nature of the removal of the destroyed rock and the movement of the drilling tool, the type of drilling tool, as well as the method of mounting the borehole walls, has been proposed. The classification, according to the nature of removal of the destroyed rock, distinguishes technologies providing or not providing the removal of destroyed rock. According to the nature of movement of the drilling tool, the rotary, shock and vibration technologies, as well as a static indentation technology, can be identified. According to the type of drilling tools, the classification divides methods into hollow drill stem with sacrificial drill bit and soil compactor and displacement tools with a starter auger section, augers, drilling buckets, core barrels, belling buckets, roller, impact and three-way bits, grabs. According to the methods of well casing, the technologies can be divided into the ones, allowing and not allowing the casing of well.

Keywords: modern methods of drilling boreholes; bored piles; special geotechnic works.





В настоящее время в условиях плотной городской застройки постоянно снижается число территорий (площадок), доступных для промышленно-гражданского и транспортного строительства. В связи с этим наблюдается рост этажности зданий, а также увеличение темпов строительства многоуровневых транспортных развязок и тоннелей. Указанное обстоятельство влечёт за собой необходимость строительства свайных фундаментов повышенной несущей способности, выполненных из свай различных типов и сечений.

В современной практике для строительства фундаментов в основном применяются забивные и буровые сваи. Последние [1] являются одной из возможных альтернатив забивным сваям в случаях, когда строительство ведётся в условиях плотной городской застройки и требуется снизить риск возникновения негативных динамических воздействий на окружающие здания и сооружения. Кроме того, буровые сваи могут применяться в сложных горно-геологических условиях, например, при бурении в техногенных грунтах. Буровые сваи в соответствии с существующей терминологией относятся к так называемому типу свай, устраиваемых на месте, т. е. свай, изготавливаемых в условиях строительной площадки, в отличие от свай заводского изготовления (например, железобетонных забивных).

Технология устройства (изготовления) буровых свай предусматривает последовательное выполнение следующих операций: бурение скважины различными способами с креплением стенок скважины или без крепления, подготовка (зачистка) забоя скважины, замена бурового раствора (в случае его использования), установка армирующего элемента (стального профиля или каркаса из стальной или полимерной композитной арматуры), бетонирование скважины с одновременным извлечением (подъёмом) колонны инвентарных обсадных труб.

В современной практике скважины для устройства буровых свай могут иметь глубину от 10 до 100 м и диаметр от 400 до 4000 мм. Скважины в основном закладываются вертикальными, однако в определённых условиях, например, в случае залегания под строительной площадкой подземных сооружений, могут закладываться слабонаклонными. Поперечное сечение скважины (выработки) под буровые сваи может быть круглым, квадратным, прямоугольным, тавровым, а также L-образным [1]. Далее будут рассмотрены способы бурения скважин для устройства буровых свай только круглого сечения.

Предлагается актуализированная, относительно представленной в [2], классификация способов бурения скважин для устройства буровых свай, при-

меняемых при строительстве фундаментов зданий в условиях городской застройки (рисунок), учитывающая характер удаления разрушенной породы и движения бурового инструмента, тип применяемого бурового инструмента, а также способ крепления стенок скважины.

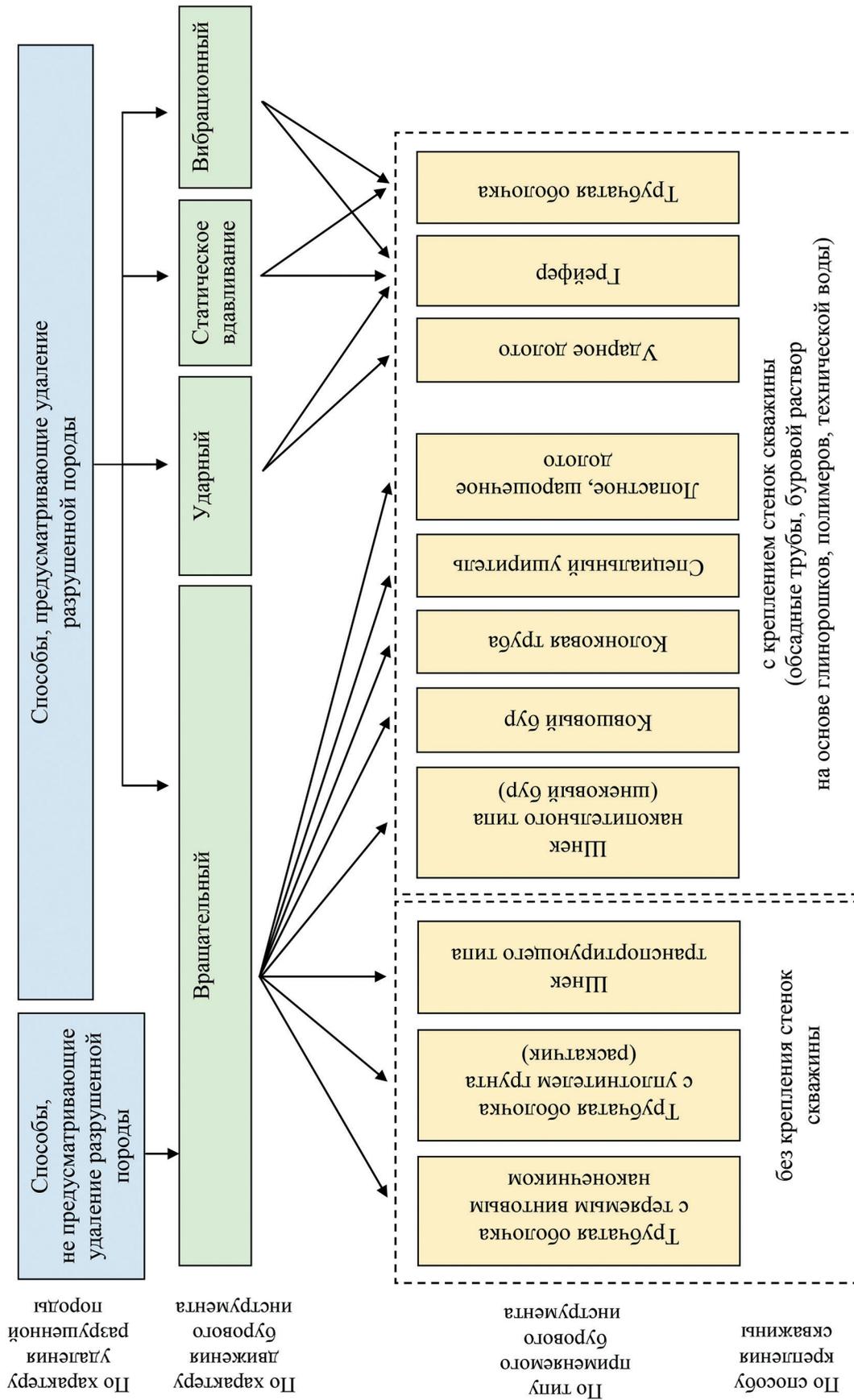
Способы бурения скважин для устройства буровых свай условно можно разделить на две основные группы: предусматривающие и не предусматривающие удаление разрушенной горной породы.

Бурение скважин с удалением разрушенной породы в настоящее время, реализуется за счёт применения вращательного, ударного и вибрационного способов, а также способа статического вдавливания. В практике современного строительства, наибольшее распространение получил *вращательный способ бурения* с применением в качестве бурового инструмента шнеков транспортирующего и накопительного (шнековых буров) типов, ковшовых буров и специальных колонковых труб, а также в определённых случаях с применением лопастных или шарошечных долот. Также активно применяется *способы статического вдавливания и ударный*. При этом в качестве бурового инструмента используется грейфер (механический канатный или гидравлический), долото или трубчатая оболочка. В некоторых случаях для бурения скважин возможно применение *вибрационного способа* с применением виброгрейфера или трубчатой оболочки. В случае применения рассмотренных выше способов бурения стенки скважины могут крепиться с помощью обсадных труб, а также буровых растворов, приготовленных на основе глинопорошков, полимеров или технической воды. В случае применения шнеков транспортирующего типа, крепление стенок скважины не требуется.

Бурение скважин без удаления разрушенной породы также реализуются за счёт использования вращательного способа, однако в данном случае в качестве бурового инструмента могут применяться: трубчатая оболочка с «теряемым» винтовым наконечником или трубчатая оболочка со специальным инструментом уплотнения, так называемым раскатчиком скважин. При бурении скважин без извлечения породы необходимость в креплении стенок скважины отсутствует.

Рассмотрим подробнее каждый из указанных выше способов.

Вращательный способ бурения с применением шнеков накопительного типа (шнековых буров) и ковшовых буров [1] (технология устройства буровых свай «Kelly») позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 125 м и диаметрами от 600 до 4600 мм [3—8] в глинах, суглинках, супесях, песках, в том числе обводнённых, а также «слабых»



Классификация способов бурения скважин, применяемых для устройства буровых свай при строительстве фундаментов в условиях городской застройки



известняках. При бурении в обводнённых грунтах применяются ковшовые буры. При необходимости отбора образцов грунта применяются специальные колонковые трубы, которые также можно использовать при бурении твёрдых прослоек, валунов и бетонных массивов. Если конструкцией предусмотрены одно- или многоместные уширения ствола скважины [1], применяются специальные уширители (например, лопастного типа).

В качестве бурильных труб используются многосекционные телескопические бурильные трубы оригинальной конструкции (Kelly). Крутящий момент передаётся за счёт шлицевых соединений, расположенных на каждой из секций трубы. Осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент осуществляется весом бурильной трубы и шнекового бура, также возможно увеличение осевой нагрузки за счёт системы подачи установки (гидравлической или канатной). В качестве породоразрушающего инструмента применяются пилотные долота со съёмными резцами из твёрдого сплава различной конфигурации, зависящей от твёрдости разбуриваемой породы.

Рассмотренный способ бурения скважин в сложившейся практике является наиболее универсальным, так как позволяет бурить породы различной твёрдости, в том числе, водонасыщенные и техногенные, а также позволяет вести одновременное крепление ствола скважины инвентарными извлекаемыми обсадными трубами или буровым раствором (глинистым или полимерным). Однако производительность работ по устройству буровой сваи с применением указанного способа относительно невелика и составляет для условного диаметра до 800 мм и длины до 20 м в среднем 1—2 сваи в сутки (включая бурение скважины, армирование и бетонирование сваи).

Вращательный способ с применением шнеков транспортирующего типа [1] (технология устройства буровых свай «НППШ» — «CFA (Continuous Flight Auger)») позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 40 м и диаметрами от 500 до 1400 мм [3, 4, 6, 10, 12, 13] в глинах, суглинках, супесях, песках, в том числе обводнённых за исключением твёрдых прослоек и известняков. При реализации данного способа нагрузка на забой создается весом шнековой колонны и системой подачи буровой установки. В качестве породоразрушающего инструмента применяются пилотные долота со съёмными резцами из твёрдого сплава различной конфигурации, зависящей от твёрдости разбуриваемой породы.

Особенностью указанного способа является высокая механическая скорость бурения скважины, а следовательно, и высокая скорость сооружения

буровой сваи (до 5—7 скважин в сутки для условного диаметра до 800 мм и длины до 20 м), так как отсутствует необходимость в креплении стенок скважины. Однако имеются значительные ограничения по диаметру и глубине скважины, связанные со значительным ростом затрат мощности на вращение шнековой колонны, а также ограничения, вызванные значительными трудностями или невозможностью бурения прослоек твёрдых пород.

Буровые установки для вращательного способа бурения с применением шнекового инструмента скважин представляют собой самоходные агрегаты, смонтированные на гусеничном ходу, оснащённые дизельным приводом, кабиной, мачтой, вращателем и группой лебёдок: основной для подвеса бурильной трубы и вспомогательной для монтажа арматурного каркаса и обсадных труб. Вращатель, используемый на установках данного типа, обладает оригинальной конструкцией. По своему виду он является роторным, но при этом имеет возможность перемещаться по длине (высоте) мачты, в связи с чем, может быть отнесён также и к вращателям подвижного типа. Вращатель за счёт применения специального переходника позволяет вести попеременное бурение как бурильной трубой, так и инвентарными обсадными трубами, имеющими собственный породоразрушающий инструмент — коронку, армированную твёрдосплавными резцами. Максимальный момент, создаваемый на вращателе, может достигать величины 721 КНм [3, 4, 6, 10, 11, 12].

В современной практике в основном используются буровые установки следующих компаний производителей: Bauer Maschinen (Германия), Liebherr (Австрия), Casagrande и SoilMech (Италия), Sany (Китай), Junttan (Финляндия).

Вращательный способ бурения с применением лопатных или шарошечных долот в основном реализуется за счёт организации обратной промывки скважины, например, технической водой. В качестве бурильных труб используются специальные трубы с фланцевыми соединениями. Скважины при этом могут иметь максимальную глубину до 40 м и диаметр от 600 до 1500 мм. Однако в современной практике указанный способ широкого распространения не получил.

Ударный способ с применением грейферов и долот, а также способ статического вдавливания с применением грейферов позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 100 м и диаметром от 880 до 3800 мм (в случае применения механических канатных грейферов) [11] и до 2000 мм (при применении гидравлических грейферов) [8] в глинах, суглинках, супесях, песках, в том числе обводнённых, а также известняках. При реа-



лизации ударного способа внедрение грейфера в породу осуществляется за счёт его сбрасывания с определённой высоты. Удаление породы из забоя производится за счёт закрывания (смыкания) челюстей грейфера, вызываемого натяжением каната (канатный грейфер). При реализации способа статического вдавливания внедрение грейфера в породу осуществляется под действием веса грейфера, закрывание челюстей — за счёт перемещения гидравлического поршня (гидравлический грейфер). Нижняя часть челюстей грейфера оснащена съёмными резаками из твёрдого сплава. В процессе бурения скважины указанными способами стенки скважины могут крепиться как инвентарными (извлекаемыми) обсадными трубами, так и буровым раствором на основе глинопоорошков или полимеров.

Рассмотренные способы также являются универсальными, поскольку позволяют бурить (проходить) породы различной твёрдости, в том числе водонасыщенные и техногенные, а также вести одновременное крепление ствола скважины инвентарными извлекаемыми обсадными трубами или буровым раствором.

Производительность работ по устройству буровой сваи с применением указанных способов может составлять для условного диаметра до 800 мм и длиной до 20 м в среднем одну скважину в сутки (включая бурение скважины, армирование и бетонирование сваи). Указанная производительность обусловлена более низкими значениями механической скорости бурения скважины по сравнению со шнековым способом, а также необходимостью использования дополнительного оборудования (механизмов) для погружения обсадных труб.

В современной практике использование способа статического вдавливания с использованием трубчатой оболочки встречается достаточно редко.

Для реализации ударного способа и способа статического вдавливания используются тяжёлые стреловые краны (например, производства компании Liebherr (Австрия), смонтированные на гусеничном ходу и оснащённые лебедками: основной для подвеса грейфера и вспомогательной — для монтажа арматурного каркаса и обсадных труб. Из-за отсутствия вращателя, погружение обсадных труб производится при помощи специальных механизмов (осцилляторов), позволяющих совмещать осевое перемещение трубы с одновременным её качанием. Одним из производителей указанных механизмов является компания Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH & Co. KG (Германия).

Вибрационный способ. Его использование с использованием виброгрейфера или трубчатой обо-

лочка в городской застройке может быть реализовано только при условии отсутствия негативного воздействия на рядом расположенные здания. В связи с этим, рассматриваемый способ имеет ограниченное использование.

Вращательный способ бурения скважин с использованием трубчатой оболочки с «теряемым» винтовым наконечником или трубчатой оболочки со специальным инструментом уплотнения (раскатчиком) (технология устройства буровых свай — «FDP» (Full Displacement Pile)) [5] позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 50 м и диаметром от 600 до 900 мм (в случае применения трубчатой оболочки с винтовым наконечником) [9], максимальной глубиной до 30 м и диаметром от 500 до 710 мм (в случае применения «раскатчика») [7] в осадочных породах (грунтах), обладающих низкими прочностными и деформационными показателями (модуль деформации $E < 14-16$ МПа, сцепление < 12 КПа, угол внутреннего трения до $5-7^\circ$).

При реализации данного способа нагрузка на забой создаётся весом трубчатой оболочки и гидравлической системой подачи буровой установки. В качестве породоразрушающего инструмента используется винтовой наконечник и пилотное долото, оснащённое съёмными резаками из твёрдого сплава.

Указанный способ позволяет сооружать буровые сваи с высокой производительностью, сопоставимой с производительностью рассмотренной выше технологией «НПШ» — «СФА». При этом из технологического процесса исключаются операции, связанные с удалением и перемещением выбуренной породы.

Имеются также ограничения по диаметру и глубине скважины, определяемые мощностью и длиной мачты буровой установки, а также ограничения, вызванные невозможностью бурения неуплотняемых и твёрдых пород.

Для реализации способа бурения скважин с применения трубчатой оболочки со специальным инструментом уплотнения (раскатчиком), используются буровые установки, аналогичные применяемым для устройства буровых свай по технологии «Kelly» и «НПШ» — «СФА», например, производства компаний: Liebherr (Австрия), Bauer Maschinen (Германия), Casagrande (Италия), Sany (Китай), Junttan (Финляндия).

Отдельно необходимо отметить самоходные буровые установки оригинальной конструкции, предназначенные для бурения скважин с применением трубчатой оболочки с «теряемым» винтовым наконечником, производства компании IHC Fundex Equipment B.V.



ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58035-2017/EN 1536:2010+A1:2015 «Работы геотехнические специальные. Буровые сваи. Правила производства работ. (EN 1536:2010+A1:2015 Execution of special geotechnical work — Bored piles, IDT)». М.: Стандартинформ, 2018. 58 с.
2. Неплевский М.О. Способы сооружения скважин при создании фундаментов зданий и подземных сооружений // Известия высших учебных заведений: Геология и разведка. 2002. № 2. С. 151–153.
3. B400 XP2 HYDRAULIC PILING RIG. [Электронный ресурс] URL: <https://www.casagrandegroup.com> (дата обращения: 27.08.2019).
4. BG 72. Rotary Drilling Rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bauer.de> (дата обращения: 27.08.2019).
5. DIN EN 12699-2015. Execution of special geotechnical works — Displacement piles; German version EN 12699:2015. 2015. p. 71.
6. Drilling Rig. LB44-510. Litronic®. [Электронный ресурс] <https://www.liebherr.com> (дата обращения — 27.08.2019).
7. FDP. Full Displacement Piling. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bauer.de> (дата обращения — 31.08.2019).
8. HYDRAULIC SPHERICAL GRAB [Электронный ресурс] URL: <https://www.leffer.de> (дата обращения — 27.08.2019).
9. IHC FUNDEX F5600 Multifunctional foundation rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ihcfundex.nl> (дата обращения — 27.08.2019).
10. JUNTAN Multipurpose Pile Rig MPx90. [Электронный ресурс] URL: <https://junttan.com> (дата обращения — 27.08.2019).
11. SPHERICAL GRAB for bored piles 880—3800 mm diameter. [Электронный ресурс] URL: <https://www.leffer.de> (дата обращения — 27.08.2019).
12. SR405R. C10 Series Rotary Drilling Rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sanyglobal.com>. (дата обращения — 27.08.2019).
13. SR-145 HIT Hydraulic Rotary Rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.soilmec.com> (дата обращения — 27.08.2019).

REFERENCES

1. *GOST 58035-2017/EN 1536:2010+A1:2015. Special geotechnical works. Bored piles. Execution rules.* Moscow, Standartinform Publ., 2018, 58 p. (In Russian)
2. Neplevsky M.O. Designing wells in the construction of building basements and underground structures. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration [Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka]*, 2002, no. 2, pp. 151–153. (In Russian)
3. *B400 XP2 HYDRAULIC PILING RIG.* Available at: www.casagrandegroup.com (Accessed 27 August 2019).
4. *BG 72. Rotary Drilling Rig.* Available at: www.bauer.de (Accessed 27 August 2019).
5. *DIN EN 12699-2015. Execution of special geotechnical works — Displacement piles;* German version EN 12699, 2015, 2015, p. 71.
6. *Drilling Rig. LB44-510. Litronic®.* Available at: <https://www.liebherr.com> (Accessed 27 August 2019).
7. *FDP. Full Displacement Piling.* Available at: www.bauer.de (Accessed 27 August 2019).
8. *HYDRAULIC SPHERICAL GRAB.* Available at: www.leffer.de (Accessed 27 August 2019).
9. *IHC FUNDEX F5600. Multifunctional foundation rig.* Available at: www.ihcfundex.nl (Accessed 27 August 2019).
10. *JUNTAN Multipurpose Pile Rig MPx90.* Available at: junttan.com (Accessed 18 August 2019).
11. *SPHERICAL GRAB for bored piles 880-3800 mm diameter.* Available at: www.leffer.de (Accessed 27 August 2019).
12. *SR405R. C10 Series Rotary Drilling Rig.* Available at: www.sanyglobal.com. (Accessed 27 August 2019).
13. *SR-145 HIT Hydraulic Rotary Rig.* Available at: www.soilmec.com (Accessed 31 August 2019).

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ
GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 550.839

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АНЧАР ДЛЯ ПОИСКА,
РАЗВЕДКИ И ВОВЛЕЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКУ МАЛЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ
НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ***

В.Г. МИРОНЫЧЕВ, Г.Ю. КАШИН

*Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
1, Университетская ул., Ижевск 426034, Россия
e-mail: fngp@udsu.ru*

В настоящее время на территории Удмуртской Республики наблюдается истощение долго разрабатываемых крупных месторождений нефти. Прирост запасов нефти существенно отстаёт от добычи. Решить эту проблему можно за счёт введения в разработку нефтяных месторождений с запасами до 300 тыс. т нефти. Однако классические методы поиска, разведки и разработки делают экономически не рентабельными выявление и эксплуатацию данных месторождений. Решить эту проблему можно при помощи применения технологии акустической низкочастотной разведки (АНЧАР) на поисково-оценочном и разведочном этапах геолого-разведочных работ. Приведены прогнозные схемы нефтегазонасности Дебесского, Восточно-Тыловайского месторождений, а также Староягинской и Марьской структур, опоскованных данным методом. Представлены преимущества применения технологии АНЧАР при проведении поисковых и разведочных работ на нефть, а также предложены наиболее перспективные геологические объекты для прогнозирования залежей методом АНЧАР на территории Удмуртии. Ключевые слова: Удмуртская Республика; АНЧАР; микросейсмика; поиск; разведка; нефть; нефтегазонасность.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-76-81

**APPLICATION OF TECHNOLOGY OF ACOUSTIC LOW FREQUENCY
EXPLORATION FOR EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF SMALL
OIL FIELDS IN UDMURT REPUBLIC**

V.G. MIRONYCHEV¹, G.YU. KASHIN¹

*¹Oil and Gas Institute named after M.S. Gutseriev, Udmurt State University
1/7, University str., Izhevsk 426034, Russia
e-mail: fngp@udsu.ru*

Currently at the territory of the Udmurt Republic there is a depletion of previously discovered large oil fields. The increase in oil reserves is many times behind production. This problem can be solved by the introduction of oil fields with reserves of up to 300 thousand tons of oil. However the classical methods of prospecting, exploration and development makes identification and exploitation of these deposits economically not cost-effective. This problem can be solved by using the technology of acoustic low-frequency exploration at the search and evaluation and exploration stages of exploration. The forecasting scheme of hydrocarbon potential of Debesskoe, Vostochno-Tylovaikoe fields, as well as Staroaleiskaya and Marinskaya structures, studied by this method, has been shown. Advantages of application of technology of acoustic low-frequency investigation at carrying out the prospecting and exploration works on oil in the Udmurt Republic have been presented. The most promising geological structures to predict oil deposits by means of acoustic low frequency exploration in the territory of the Udmurt Republic have been suggested. Key words: Udmurt Republic; acoustic low-frequency exploration; microseismics; prospecting; exploration; oil; hydrocarbon potential.



К началу 90-х гг. XX в. на территории Удмуртской Республики были опойсканы все крупные структуры и разведаны все крупные месторождения нефти. Прирост запасов нефти в Удмуртии после 2001 г. начал существенно отставать от объёмов нефтедобычи. Усиление такой тенденции в дальнейшем приведёт к крайне негативным последствиям в нефтегазодобывающей промышленности Удмуртии. Для решения данной проблемы нефтедобывающим компаниям необходима новая стратегия поиска и разведки структур, ранее считавшихся неперспективными и нерентабельными при применении традиционных способов геолого-разведочных работ (ГРР). Основной проблемой привлечения месторождений с ресурсами нефти до 300 тыс. т, независимо от их стратиграфии, является необходимость бурения большого числа скважин на поисково-оценочном и разведочном этапах. Эксплуатационное разбуривание месторождений также сопровождается высокими затратами.

Кроме того, крайне острый вопрос при проведении ГРР на малые залежи — сложность надежной геометризации залежей и, как следствие, оценка содержащихся в них запасов углеводородов. Неправильная оценка ресурсов нефти в залежи также приводит к значительным финансовым затратам. Примером подобного месторождения в Удмуртии является Опаринское месторождение нефти и газа, на котором в 2019 г. завершилось поисково-разведочное бурение (рис. 1).

Неверная оценка прогнозных ресурсов привела к огромным экономическим потерям при бурении поисковых и разведочных скважин на данном месторождении. Почти все скважины, пробуренные по результатам 3D сейсморазведки, оказались «пустые». Опаринское месторождение было признано нерентабельным для разработки (таблица).

Результаты поисково-разведочного бурения на Опаринском месторождении

Прогнозные ресурсы до поискового бурения, тыс. т	890
Подтверждённые геологические запасы, тыс. т	44
Извлекаемые запасы, тыс. т	9
Число пробуренных скважин, шт.	11
Число «сухих» скважин, шт.	10

Поиск мелких структур требует применение дорогостоящих комплексных методов геолого-разведочных работ и большого объёма глубокого бурения, что выводит разработку таких залежей за грань рентабельности. Из-за отрицательных результатов нефтяные компании Удмуртии практически полностью прекратили поисковые работы на мелкие объекты. Решить эти проблемы геологам Удмуртии во многом может помочь применение технологии АНЧАР, позволяющей делать прогноз по степени и характеру насыщения залежи углеводородами с выделением внешнего и внутреннего контуров нефтегазоносности.

Материалы и методы

Наиболее перспективными объектами с точки зрения прироста запасов нефти являются весьма малые (до 300 тыс. т) месторождения нефти на территории Удмуртии, связанные с неструктурными ловушками, а также продуктивными девонскими и вендско-рифейскими отложениями. Эти структуры могут содержать более 40% от начальных геологических запасов нефти Удмуртии.

Одним из примеров, подтверждающих высокую перспективность поиска новых залежей на территории Удмуртии, являются открытые в 2017 г. Весеннее и Пихтовское месторождения, запасы которых оцениваются в 0,6 и 0,2 млн. т нефти, а дебиты скважин составляют до 60 и 15 м³/сут. безводной нефти соответственно [13].

В настоящее время для выявления таких структур на территории Удмуртии применяется МОГТ. Этот метод основан на разности распространения продольных и поперечных волн в горных породах [3, 5]. Он достаточно надёжен при поиске залежей углеводородов, но имеет ряд ограничений. Несмотря на то, что применение МОГТ позволяет получить точную информацию по структурному строению изучаемого района, он не может дать

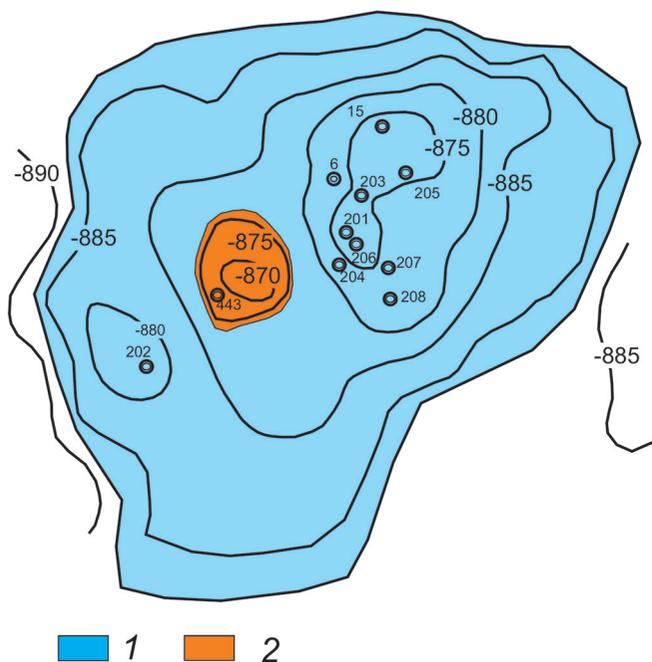


Рис. 1. Несовпадение предполагаемой и фактической площади нефтегазоносности: 1 — предполагаемая зона нефтегазоносности; 2 — фактическая зона нефтегазоносности



однозначный ответ на вопрос о нефтегазоносности выявляемых геологических структур [8]. Следствием этого становится бурение большого числа «сухих» скважин [4].

При прогнозировании залежей в терригенном девоне МОГТ оказывается малоэффективным вследствие крайне сложного геологического строения. Каждое последующее уточнение геологического и структурного строения значительно отличается от предыдущего. Вследствие этого возникает неуверенность в надёжности структурных построений нефтегазоперспективных объектов, что сдерживает поисково-разведочное бурение с целью развития нефтедобычи из малоамплитудных ловушек терригенного девона [7]. Применение технологии АНЧАР способствовало бы созданию достаточно достоверной, с наиболее надёжной геологической геометризацией концептуальной модели залежей углеводородов на таких участках. В свою очередь это обеспечило бы успешность поискового, разведочного и эксплуатационного бурения, так как именно результаты бурения первых скважин во многом определяют дальнейший подход к работе с залежью.

Использование данной технологии позволило бы достоверно оконтуривать малоамплитудные ловушки терригенного девона. Начальные суммарные геологические запасы нефти девонских отложений Удмуртии в настоящее время предварительно оценены в 90 млн. т, что составляет около 10% всех начальных суммарных запасов Удмуртии [10].

Кроме того, технология АНЧАР позволила бы выявить контуры залежи в случае их несоответствия структурным элементам. Прогноз запасов углеводородов в неструктурных ловушках и девонских залежах позволит нарастить запасы нефти, а в дальнейшем значительно повысить добычу нефти благодаря вовлечению новых залежей в разработку.

АНЧАР — микросейсмическая инфразвуковая разведка на нефть и газ, технология прогноза углеводородов в геологических структурах. Если приоритетной целью сейсморазведки является выявление перспективных на нефть и газ геологических структур, то задача АНЧАР — определение нефтегазоперспективности этих структур.

Данная технология отличается от МОГТ тем, что сигнал, несущий геологическую информацию, является не отражённым или преломленным поверхностью напластования, а генерируется непосредственно самой углеводородной залежью (микросейсмическая АНЧАР НГЗ) [1].

Скорость проведения полевых работ при применении АНЧАР составляет 4–6 км²/сут. Камеральная обработка данных составляет около двух-трёх дней. Таким образом, скорость проведения

работ методом АНЧАР в два раза превышает 3D сейсморазведку. Недостатком технологии является только несколько большая стоимость работ этим методом, которая превышает стоимость 3D сейсморазведки примерно в полтора раза, что связано с использованием более дорогостоящего оборудования, применяемого при проведении работ. Использование АНЧАР в комплексе с традиционными методами изучения структурного строения продуктивных толщ позволит прогнозировать нефтегазоносность залежей, сокращая финансовые и временные затраты на разбуривание «сухих» скважин, существенно ускорит восполнение ресурсов углеводородов.

Опыт применения технологии АНЧАР показывает возможность прогноза углеводородов при любых литологических неоднородностях и любой расчлененности углеводородных залежей. АНЧАР применяется для прогнозирования залежей углеводородов в неструктурных ловушках, а также в других сложных малоамплитудных и малоразмерных ловушках, которые характеризуются локальной и вертикальной [6] изменчивостью, какими, например, являются девонские залежи на территории Удмуртской Республики.

Использование технологии АНЧАР нефтедобывающими компаниями Удмуртии значительно упростило бы выявление неструктурных ловушек, располагающихся вблизи зон тектонических разломов на уже открытых месторождениях нефти. Доля ресурсов нефти, сосредоточенная в спутниках крупных месторождений, может составлять до 35% от начальных запасов основных залежей [9].

На территории Удмуртии технология АНЧАР применялась на Восточно-Тыловском и Дебесском месторождениях, а также Марьинской структуре с целью выявления и предварительной оценки геологических объектов для постановки поисково-разведочных работ на нефть и газ, что позволило выявить на этих структурах участки пластов с перспективной нефтепродуктивностью.

Применение технологии АНЧАР позволило установить, что контуры залежи имеют расхождение со структурными элементами, которые были выявлены по результатам сейсморазведки и поискового бурения (рис. 2). Данные, полученные в результате работ, на Восточно-Тыловском, Дебесском месторождениях и Марьинской структуре позволяют наметить первоочередные участки для глубокого бурения.

Технология АНЧАР может также успешно применяться для выявления пропущенных залежей углеводородов. Исследования Староягинской структуры методом АНЧАР [2] позволили выявить залежь в синклиналии области структуры и дали

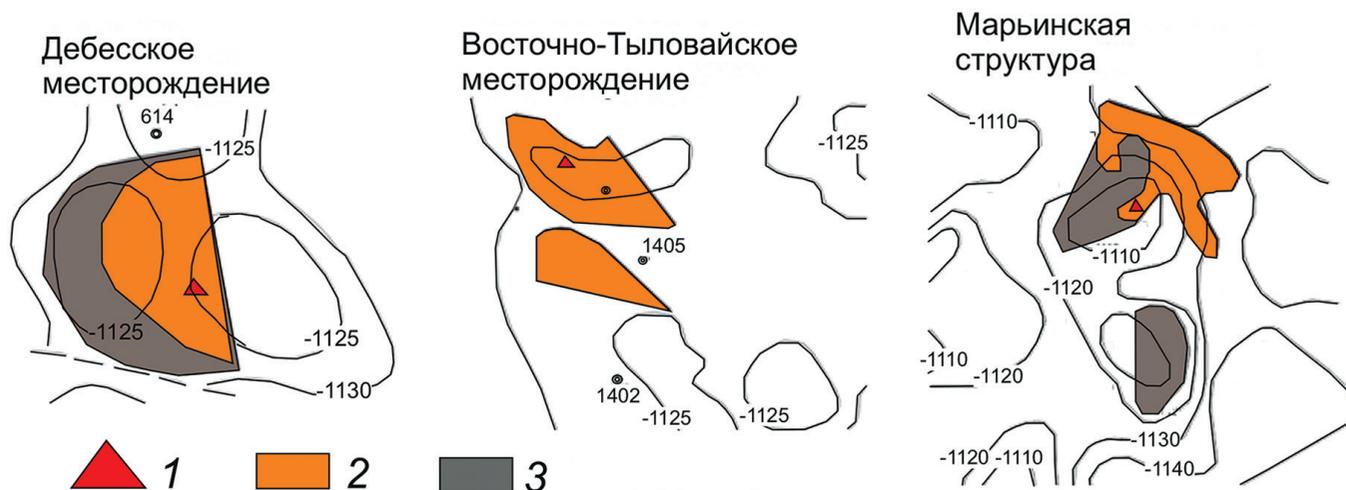


Рис. 2. Несовпадение залежей со структурными планами: 1 – рекомендованное расположение скважин; 2 – внешний контур нефтегазоносности; 3 – внутренний контур нефтегазоносности

прогнозную схему ее нефтегазоносности, а также рекомендации для расположения поисковых скважин (рис. 3).

Применение технологии АНЧАР на территории Республики Татарстан (Мамадышская площадь) и Оренбургской области (Соль-Илецкий свод, Предуральский прогиб, Бузулукская впадина) подтвердило её высокую эффективность при прогнозировании углеводородов в различных геолого-сейсмологических условиях [11].

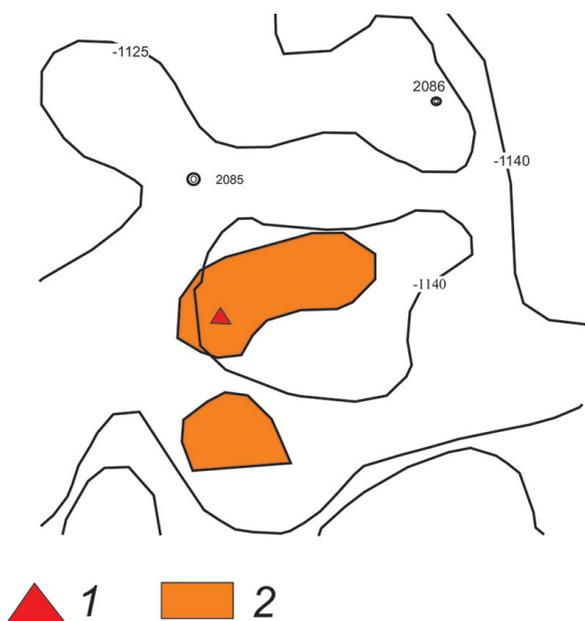


Рис. 3. Применение технологии АНЧАР для выявления пропущенных залежей на примере Староягинской структуры: 1 – рекомендованное расположение скважин; 2 – внешний контур нефтегазоносности

Одними из наиболее многообещающих в ближайшей перспективе, с экономической точки зрения, объектов для проведения геологоразведки методом АНЧАР на территории Удмуртской Республики являются Быковский участок и Чукавинская площадь.

Быковский участок расположен в пределах Татарской и Верхнекамской нефтегазоносных областей. Его площадь составляет более 650 км². Промышленная нефтегазоносность установлена в карбонатных верейских отложениях.

Чукавинская площадь приурочена к Верхнекамской нефтегазоносной области. Её площадь составляет около 700 км². Залежи нефти прогнозируются в верейских карбонатных и тиманских терригенных отложениях [12].

АНЧАР позволяет существенно снизить финансовую нагрузку на этапе ГРП на этих геологических структурах за счёт сокращения объёмов глубокого бурения.

Результаты и обсуждения

Эффективность применения технологии АНЧАР в Удмуртии достижима за счёт:

- 1) сокращения бурения поисковых и разведочных скважин за счёт наиболее достоверного оконтуривания выявленных залежей углеводородов;
- 2) обоснованного выбора на обнаруженных месторождениях углеводородов наиболее перспективных точек для вскрытия добывающими и нагнетательными скважинами продуктивных отложений;
- 3) выявления висячих, пропущенных и капиллярно-зашемлённых залежей нефти;



4) выявления залежей углеводородов в несвойственных Удмуртии моноклинальных и синклиналильных структурах;

5) выделения глубинных структур терригенного девона, сложных для обнаружения традиционными методами;

6) обеспечения надёжной геометризации залежей;

7) снижения затрат на разбуривание залежей углеводородов;

8) высокой экологической безопасности метода;

9) возможности использования технологии в тяжёлых геологических условиях;

10) достижения высокого коэффициента успешности (более 0,8) практически независимо от глубины залежи углеводородов.

Выводы

1. В связи с истощением крупных месторождений нефти в Удмуртской Республике всё большее

внимание будет уделяться малым месторождениям, которые содержат значительные запасы нефти, но геометризация данных объектов крайне затруднена при использовании традиционного комплекса работ.

2. От того, как детально проработана концептуальная геологическая модель, зависит успешность глубокого бурения. Результаты бурения первых скважин во многом определяют дальнейшее отношение к месторождению.

3. Надёжная геометризация малых и очень малых месторождения залежей затруднена без проведения работ методом АНЧАР.

4. Технология АНЧАР позволяет наиболее рационально выбрать точки для закладки поисковых и разведочных скважин с дальнейшей возможностью их перевода в эксплуатационные, что позволяет значительно сократить объёмы бурения и сделать малые месторождения рентабельными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов С.Л., Карнаухов С.М., Позднеухов С.В., Булавин В.Д., Востров Н.Н. Технология АНЧАР при поиске и мониторинге залежей углеводородов // Технологии сейсморазведки. 2010. № 1. С. 58–66.
2. Арутюнов С.Л. Отчет о выполнении опытных работ методом низкочастотной разведки АНЧАР на территории Удмуртской Республики. Договор А-39/99 от 02.07. 1999 г. Оренбург – Ижевск, 1999. 58 с.
3. Бондарев И.В. Сейсморазведка МОГТ. Курс лекций для бакалавров. Часть 3. Основные теории, методики полевых работ и обработки результатов сейсмических наблюдений методом общей глубинной точки. Екатеринбург: УГГГА, 1996. 240 с.
4. Галкин С.В. Научное обоснование геологических рисков при вводе структур в глубокое нефтепоисковое бурение: На примере территории северо-востока Волго-Уральской НПП. Дисс. ... доктора геол.-мин. наук. Пермь, 2006. 309 с.
5. Гриценко С.А. Изображение геологических разрезов и определение скоростей методом общей глубинной точки. ФГБОУ «ВСЕГЕИ», СПб, 2014. 120 с.
6. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Штык А.В. Инновационные сейсмоакустические технологии для разведки и разработки месторождений // Бурение & Нефть. 2010. № 2. С. 3–8.
7. Лысенко В.Д. Инновационная разработка нефтяных месторождений. М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2000. 516 с.
8. Мешбей В.И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. Недра, Москва, 1973. 152 с.
9. Савельев В.А. Нефтегазоносность и перспективы освоения ресурсов нефти Удмуртской Республики. Институт компьютерных исследований. Ижевск-Москва, 2003. 287 с.
10. Соснин Н.Е. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности сложнопостроенных девонских терригенных отложений на территории Удмуртской Республики. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 2013. 183 с.
11. АНЧАР — научно-технологический комплекс [Электронный ресурс]. URL:<http://www.anchor.ru> (дата обращения: 10.05.2019)
12. Neftegaz RU [Электронный ресурс]. URL:<https://neftgaz.ru/news/Geological-exploration/460187-rosgeologiya-provela-3d-seysmorazvedku-na-bykovskom-uchastke-nedr-v-udmurtii> (дата обращения: 05.05.2019)
13. ОАО «Удмуртнефть» [Электронный ресурс]. URL:<https://www.udmurtneft.ru/news/5618> (дата обращения: 05.05.2019)

REFERENTS

1. Arutyunov S.L., Karnaukhov S.M., Pozdnyakov S.V., Bulavin D.V., Vostrov N.N. Tekhnologiya ANCHAR pri poiske i monitoringe zalezhey uglevodorodov [ALFS Technology while searching, monitoring of hydrocarbons] *Seismicheskie tekhnologii* [Seismic Technology], 2010, no. 1, pp. 58–66. (In Russian)
2. Arutyunov S.L. *Otchet o vypolnenii opytnykh rabot metodom nizkochastotnoy razvedki ANChAR na territorii Udmurtskoy Respubliki* [Report on the implementation of experimental work by the method of low-frequency intelligence ANCHAR on the territory of the Udmurt Republic]. *Dogovor A-39/99 ot 02.07. 1999 g.* [Agreement A-39/99 of 02.07.1999. Orenburg — Izhevsk], 1999, 58 p. (In Russian).
3. Bondarev I.V. *Seysmorazvedka MOGT. Kurs lektsiy dlya bakalavrov. Chast' 3. Osnovnye teorii, metodiki polevykh rabot i obrabotki rezul'tatov seismicheskikh nablyudeniy metodom obshchey glubinnoy tochki* [Seismic MCDP. Course of lectures for bachelors. Part 3. Basic theories, methods of field work and processing of seismic observations by the method of common depth point]. Yekaterinburg, Publ. UGGGA [USMGA], 1996, 240 p. (In Russian)



4. Galkin S.V. *Nauchnoe obosnovanie geologicheskikh riskov pri vvode struktur v glubokoe neftepoiskovoe burenie: Na primere territorii severo-vostoka Volgo-Ural'skoy NGP* [Scientific substantiation of geological risks when entering structures into deep oil drilling: on the example of the territory of the North-East of the Volga-Ural OGP]. Diss doktora geol.-min. nauk [Diss ... of doctor of geol.-min. sciences], Perm, 2006, 309 p. (In Russian).
 5. Gritsenko S.A. *Izobrazhenie geologicheskikh razrezov i opredelenie skorostey metodom obshchey glubinnoy tochki* [Image of geological sections and determination of velocities by the method of General depth point]. *FGBOU «VSEGEI»* [FSBEI «ARRS», St-Peterburg], 2014, 120 p.
 6. Kuznetsov O.L., Chirkin I.A., Shtyk A.V. *Innovatsionnye seysmoakusticheskie tekhnologii dlya razvedki i razrabotki mestorozhdeniy* [Innovative seismic and acoustic technologies for exploration and development of deposits]. *Burenie & Neft* [Drilling & Oil 2]. 2010, no 2, pp. 3–8.
 7. Lysenko V.D. *Innovatsionnaya razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy* [Innovative development of oil fields]. Moscow, *ООО «Nedra — Biznescentr»*, 2000, 516 p.
 8. Meshbey V.I. *Seysmorazvedka metodom obshchey glubinnoy tochki* [Seismic exploration by common depth point method]. Nedra [Nedra], Moscow, 1973, 152 p.
 9. Savel'yev V.A. *Neftegazonosnost' i perspektivy osvoeniya resursov nefti Udmurtskoy Respubliki* [Oil and gas potential and prospects of oil resources development in the Udmurt Republic]. *Institut komp'yuternykh issledovaniy* [Institute of computer research]. Izhevsk-Moscow, 2003, 287 p. (In Russian)
 10. Sosnin N.E. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti slozhnopostroennykh devonskikh terrigennykh otlozheniy na territorii Udmurtskoy Respubliki* [Geological structure and prospects of oil and gas potential of complex Devonian terrigenous deposits on the territory of the Udmurt Republic]. Diss. kand. geol.-min. nauk [Diss. cand. of geol.-min. sciences]. Perm, 2013, 183 p. (In Russian).
 11. Acoustic low-frequency exploration scientific and technological complex, on — line Bulletin. Available from: anchar.ru (last accessed 10.05.2019)
 12. Neftegaz RU, on — line Bulletin. Available from: neftgaz.ru/news/Geological-exploration/460187-rosgeologiya-provela-3d-seysmorazvedku-na-bykovskom-uchastke-nedr-v-udmurtii (last accessed 05.05.2019)
 13. OS «Udmurtneft», on — line Bulletin. Available from: www.udmurtneft.ru/news/5618 (last accessed 05.05.2019)
-

ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOECOLOGY

УДК 504.064

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ТЕРРИТОРИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА***

С.Д. ГАНОВА, М.Н. ЦЫМБАЛ

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

Практика эксплуатации месторождений углеводородов Крайнего Севера показывает, что, несмотря на всю сложность и взаимозависимость природных и природно-техногенных условий, при проектировании сооружений используется определённый набор решений, связанных с особенностями района. При этом основным является тот факт, что все линейные объекты проектируются в одном коридоре, а трубопроводы (нефтепроводы, водоводы) — наземного заложения на опорах, площадные объекты на насыпи с сохранением почвенно-растительного слоя в основании насыпи. Кроме того, говоря об обустройстве месторождений или о транспорте продукта, необоснованно мало обращается внимания на объекты, обеспечивающие работу основных объектов в штатном режиме. К таким объектам, в частности, относятся водоводы и водозаборные сооружения, которые обеспечивают бесперебойную подачу воды требуемого количества и качества на площадку опорной базы промысла (ОБП) месторождений. Несмотря на довольно жесткое природоохранное законодательство, невозможно учесть все факторы негативного воздействия на окружающую среду, ещё сложнее проследить за действием комплекса этих факторов, а тем более за взаимодействием всех объектов, процессов и явлений в пределах актуальной природно-технической системы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: нефтяные месторождения Крайнего Севера; водозаборные сооружения; геоэкологический мониторинг; мониторинг поверхностных вод; прогнозная оценка.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-82-88

**ABOUT THE FEATURES OF THE WATER-BODIES MONITORING
AT THE SURFACE WATER-INTAKE FACILITIES
OF THE OIL FIELDS OF THE FAR NORTH**

S.D. GANOVA, M.N. TSYMBAL

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: ganova_s@mail.ru, cimbal_mar@mail.ru*

The practice of the exploitation of hydrocarbon deposits of the Far North shows that despite the complexity and interdependence of natural and man-made conditions, the design of structures uses a certain set of solutions related to the characteristics of the area. The main fact is that all linear objects are designed in one corridor, at the same time, pipelines (oil pipelines, water conduits) are designed for ground laying on piles, areal objects (infrastructural sites) on the embankment with the preservation of the soil and vegetation layer at the base of the embankment. In addition, speaking about the field development or the transport of the product, unreasonably little attention is paid to the objects that ensure the operation of the main objects in normal mode. Such objects, in particular, are the water conduits and water-intake structures that provide an uninterrupted supply of water of the desired quality and quantity on the area of support base of the field of deposits. Despite the rather strict environmental legislation, it is impossible to take into account all the factors of negative impact on the environment, it is even more difficult to monitor the effect of a complex of these factors, and especially the interaction of all objects, processes and phenomena within the current natural and technical system.

К е y o r d s: oil fields of the Far North; water-intake facilities; geo-environmental monitoring; monitoring of surface waters; prognosis evaluation.



Добыча углеводородного сырья оказывает влияние на разные компоненты окружающей среды, в том числе и на поверхностные водные объекты. Многочисленные аварийные разливы нефти способствуют хроническому загрязнению окружающей среды, потому как природные комплексы в северных регионах отличаются особой уязвимостью по отношению к внешним воздействиям и длительным периодом восстановления.

Оптимальное решение возникшей проблемы охраны водных объектов возможно при осуществлении комплекса мер:

- 1) совершенствования нормативной базы по охране вод;
- 2) разработки инструментария для диагностико-прогностических расчётов водохозяйственных задач;
- 3) совершенствования системы контроля и мониторинга;
- 4) планирования и осуществления водоохранных мероприятий [9].

Говоря об обустройстве месторождений или о транспорте продукта, необоснованно мало обращают внимание на объекты, обеспечивающие работу основных объектов в штатном режиме. К та-

ким объектам, в частности, относятся водоводы и водозаборные сооружения, обеспечивающие бесперебойную подачу воды требуемого количества и качества на площадку промысла одного из месторождений (рис. 1).

Авторами в качестве примера рассмотрено обустройство водозабора на одном из месторождений углеводородов Крайнего Севера.

В состав рассматриваемых объектов, как правило, входят:

- 1) площадка водозаборных сооружений, включающая насосную станцию, расположенную в акватории водного объекта (в нашем случае — озера) и состоящую из водоприёмного колодца и блок-бокса водозабора; площадку системы электроснабжения;
- 2) две линии водовода надземной прокладки на строительных опорах от водозаборных сооружений, находящихся в одном коридоре с автодорогой и высоковольтными линиями (ВЛ) и частично с нефтепроводом;
- 3) подъездная автодорога в насыпи от точки врезки к сооружениям водозабора;
- 4) высоковольтные линии на опорах к водозаборным сооружениям.

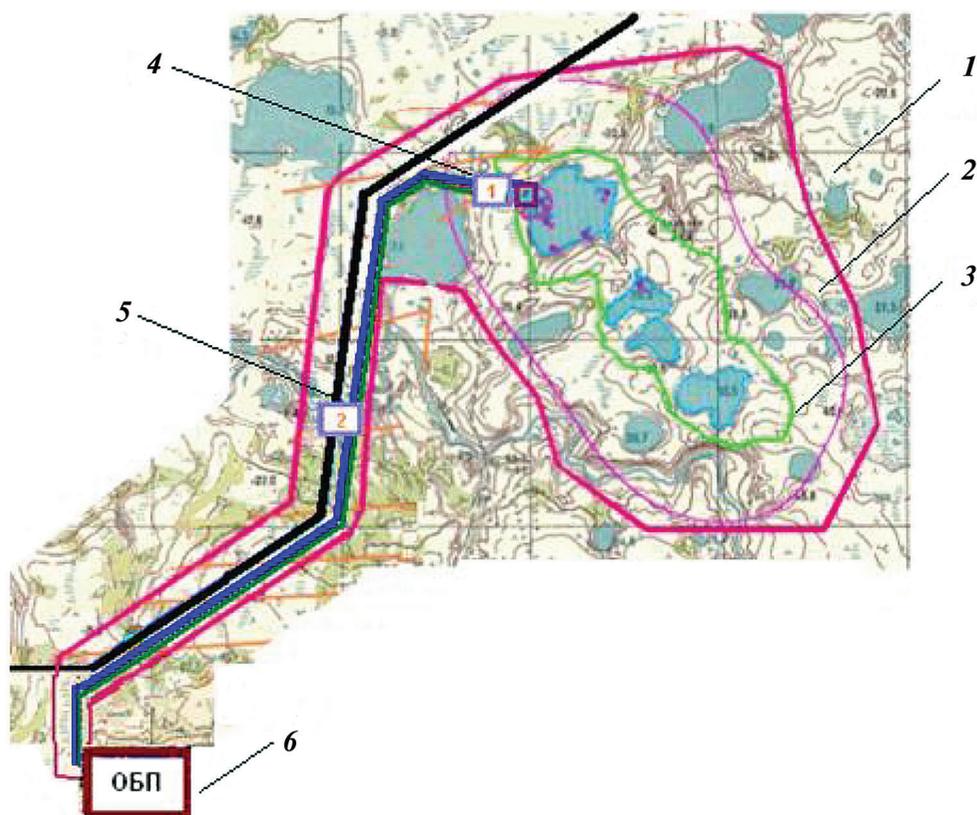


Рис. 1. Ситуационный план размещения водозаборных сооружений до опорной базы промысла (ОБП): 1 — границы района изысканий; 2 — ориентировочные зоны санитарной охраны (ЗСО); 3 — граница водораздела; 4 — коридор коммуникаций (водовод, автодорога, ВЛ); 5 — коридор коммуникаций (нефтепровод, ВЛ, автодорога, водовод); 6 — опорная база промысла

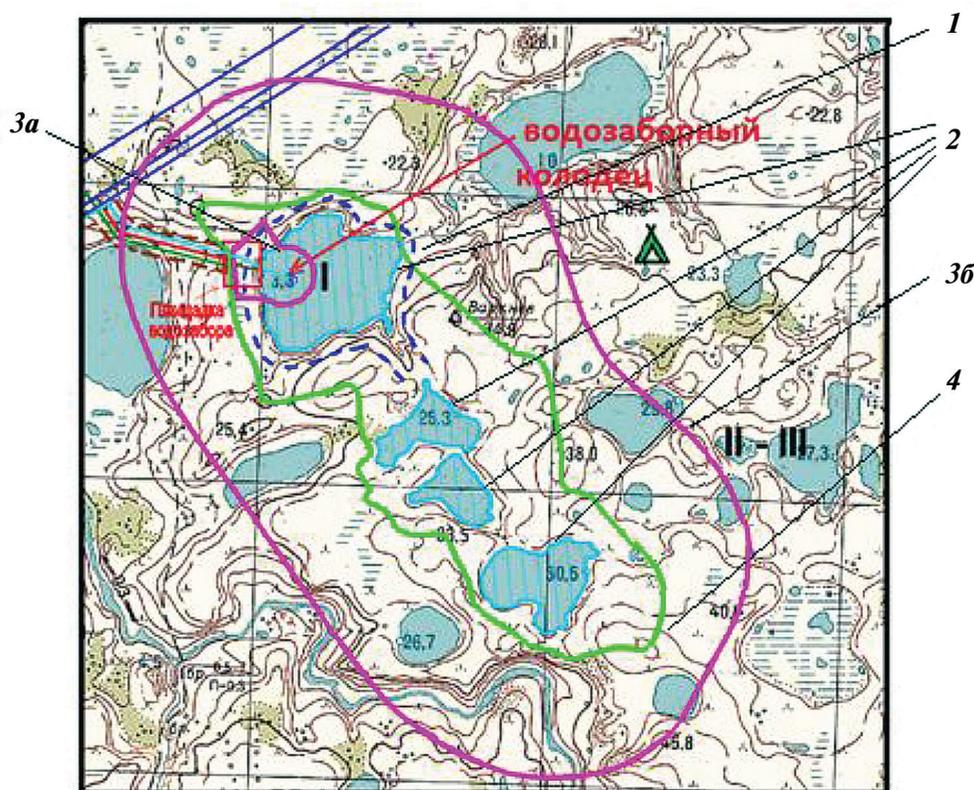


Рис. 2. Схема организации зон экологических ограничений на источнике питьевого водоснабжения: 1 – границы водоохранной зоны (для водного объекта с площадью зеркала воды более 0,5 км²); 2 – водная акватория, входящая в зоны санитарной охраны источника водоснабжения; 3 – границы зон санитарной охраны: 3а – I – пояс ЗСО, 3б – II – III – второй и третий пояс ЗСО; 4 – граница водораздела

На современном этапе для территории исследования характерно существование множественных конфликтов природопользования, носящих комплексный характер.

Строительство и эксплуатация этих объектов сопровождаются техногенным воздействием на наиболее уязвимые компоненты природной среды, что сопряжено с определёнными рисками, обусловленными природно-климатическими и геологическими условиями территории.

В рамках инженерно-экологических и гидрометеорологических изысканий обследуются зоны санитарной охраны озера, предназначенного для водоснабжения, и его притоков в составе трёх поясов, включая территорию водосборного бассейна, а также участок полосы коридора коммуникаций от границы водораздела до площадки потребления воды (рис. 2).

Для выявления источников возможного ухудшения качества воды в озере, определения зон загрязнённости и перечня специфических загрязняющих веществ проводится оценка состояния источника водоснабжения, дна озера, донных от-

ложений, гидрологических параметров; прибрежных водоохранных зон, водосборного бассейна; природных и антропогенных условий функционирования природных комплексов и природно-технических систем.

Территория характеризуется прежде всего низкими среднегодовыми температурами (до -6°C) и коротким периодом положительных температур воздуха, продолжительным устойчивым ледоставом на реках и озерах, повсеместным распространением многолетнемерзлых грунтов (ММГ) различной мощности.

Характер трендов многолетнего изменения температуры почвогрунтов в районах многолетней мерзлоты определяется не только изменениями температуры воздуха, но и во многом – изменением характеристик снежного покрова, поскольку он является хорошим теплоизолятором. Поскольку влияние высоты снежного покрова на температуру почвогрунтов прослеживается почти на всей территории многолетней мерзлоты, выявленные увеличение высоты снежного покрова в холодный период времени и рост температуры



воздуха в тёплый период может оказать влияние на температуру почвогрунтов в целом на протяжении всего периода исследований [6, 10].

Близость морей, наличие многочисленных рек, озёр и особенно болот способствует большой влажности климата [7].

Суровые природные особенности территории обуславливают продолжительный устойчивый ледостав на реках и озёрах в течение 7–8 месяцев. Питание водотоков и озёр преимущественно талыми снеговыми водами (до 75 % стока), дождевые воды имеют подчинное значение (15–20 % стока), в то же время доля подземных вод составляет 5–10 % либо практически отсутствует.

На всей территории повсеместно распространены многолетнемерзлые грунты (ММГ) различной мощности, представленные повсеместно торфами (мощностью от 0,1 до 3,0 м), песками пылеватыми с включениями гравия и гальки, иногда с примесью органических веществ, супесями, в том числе песчанистыми и льдистыми, суглинками песчанистыми, чаще пылеватыми, глинами пылеватыми. Грунты в основном находятся в многолетнемерзлом состоянии, талые грунты распространены ограниченно и приурочены к таликовым зонам под озёрными котловинами и долинами водотоков.

При этом стоит учитывать, что криолитозона по своей физической сущности является чрезвычайно инерционной природной системой, различные колебания поверхностных условий вглубь которой распространяются медленно, неглубоко и быстро затухают. Опасаться следует только перехода температуры поверхности мерзлых пород в область положительных значений, что приводит к значительному увеличению слоя летнего оттаивания грунтов либо к началу протаивания ММП сверху. Это приводит к кардинальной смене геосистем, потере устойчивости и надёжности систем жизнеобеспечения и инженерной инфраструктуры, с их деформациями, а порой и полным разрушением [1, 11].

Природно-климатические условия района и наличие многолетнемерзлых грунтов обуславливают развитие процессов термокарста в виде западин и котловин на площадке водозаборной дрены и на участках локальных понижений по трассе коридора коммуникаций. В пределах водораздела развиты заболачивание, термоэрозия и эрозия. Кроме того, встречаются многолетние бугры пучения, фиксируются солифлюкция и эоловые процессы. Усло-

вия района определяют особые требования к обустройству объектов. Их строительство осуществляется в зимний период с максимально возможным сохранением почвенного и растительного покрова в основании сооружений [10].

Гидрогеологические условия района исследований характеризуются распространением подземных вод слоя сезонного оттаивания и вод таликовых зон, представленных грунтовыми водами.

Уровень химического загрязнения территории определён как допустимый, а несколько повышенное содержание железа, марганца, меди, цинка и органических веществ в отдельных пробах поверхностной воды, скорее всего, обусловлено природными факторами, так как вполне сопоставимо с естественным фоном для северных регионов [2].

По всем показателям качество природной воды соответствует 1-му классу, что характерно для низкой степени загрязнения водного объекта, и может быть доведена до питьевого качества в соответствии с существующей технологией подготовки питьевой воды (коагуляция — отстаивание — фильтрация — обеззараживание) [9].

Прогнозирование развития возможных негативных экологических последствий во время строительства, а также дальнейшей эксплуатации проектируемого коридора коммуникаций позволяет из всего перечня взаимозависимых сред выявить ключевые для данной территории, которые являются формирующими для обеспечения бесперебойной подачи потребителю воды надлежащего качества [3].

Во время проведения строительных работ зимой, когда озеро находится в подлёдном состоянии, непосредственное воздействие на водный объект будет проявляться исключительно при обустройстве водозаборного колодца в акватории, которое может привести к взмучиванию донных осадков и увеличению мутности воды в озере, а также к нарушению мест корма рыб в водном объекте, вплоть до гибели гидробионтов.

Остальные водные объекты в зимний период не будут подвержены химическому воздействию. Поскольку главным накопителем загрязняющих веществ в период строительства будет являться снежный покров, обладающий высокой сорбционной ёмкостью, основное загрязнение водных объектов может произойти при снеготаянии.

Возможными факторами загрязнения снега, и опосредовано поверхностных и грунтовых вод, будут размещение строительных, промышленных и бытовых отходов и аварийные разливы ГСМ при



эксплуатации автотранспорта и строительной техники, особенно в непосредственной близости от водной акватории.

Совершенно очевидно, что применение комплекса мер экологической защиты позволит свести поступление поллютантов с площади водосбора в озеро и водотоки к минимуму, однако даже при проведении плановых работ по обустройству проектируемых объектов такие поступления невозможно полностью исключить.

Кроме того, площади открытого грунта являются источником песка и пыли, выдуваемой ветром в водный объект.

В период эксплуатации объектов водозаборного узла в штатном режиме химическое загрязнение поверхностных вод происходить не будет, но все же ухудшатся условия жизни и воспроизводства рыб, что приведёт к частичной гибели гидробионтов, зообентоса.

По трассе автодороги в результате экранирования потока грунтовых вод может происходить на отдельных участках подтопление территории и её заболачивание. В свою очередь заболачивание поверхности приведёт к потере обогревающего действия растительного покрова, понижению температуры и уменьшению глубины сезонного промерзания-протаивания. Локальное подтопление, образуемое в результате отсыпки площадки для размещения сооружений водозабора также вызовет нарушение поверхностного стока, преобразование почвенно-растительного покрова, изменение режима снеготаяния и уровня грунтовых вод. На площадке водозабора подъём уровня грунтовых вод может быть также связан с уменьшения испарения и утечек воды из трубопроводных коммуникаций.

В связи с тем, что для наблюдения за состоянием поверхностных водных объектов с целью их оценки, а также прогнозирования и своевременного предупреждения о возможных неблагоприятных последствиях антропогенной деятельности, и как результат принятия управляющих решений, необходимы специальные наблюдения, на территории расположения водовода и водозабора должна быть введена постоянно действующая служба геоэкологического мониторинга.

Под геоэкологическим мониторингом необходимо понимать проводимые по установленным программам регулярные наблюдения за природными средами, ресурсами и условиями, растительным и животным миром, источниками техногенного воздействия, позволяющие выявить происходя-

щие при взаимном влиянии как неблагоприятных, так и позитивных изменений; обобщение и анализ полученных данных, а также прогноз последствий изменений для состояния объекта наблюдения на основе оценки происходящих перемен [8].

Цели мониторинга могут меняться в зависимости от стадии разработки или конкретных работ, проводимых на данный момент каким-либо предприятием.

Выделяются два основных направления проведения работ по геоэкологическому мониторингу:

1. Наблюдения за источниками негативного влияния на компоненты окружающей среды.
2. Проведение исследований состояния природных сред и природных ресурсов.

Однако система ГЭМ является комплексной, поэтому в качестве его подсистем можно выделить простые системы мониторинга по основным элементам окружающей среды при условии, что они рассматриваются обязательно во взаимосвязях один с другим [5, 12].

Кроме того, в процессе геоэкологического мониторинга должны проводиться оценка экономической эффективности, с анализом всех платежей за пользование природными ресурсами, а также платежей и штрафов за загрязнения, измерение и оценка эффективности работ по восстановлению природной среды, мер по ослаблению отрицательных воздействий, и документации — журналов, отчётов, фотоматериалов, карт.

При рассмотрении планов природоохранной деятельности большое внимание уделяется формированию программы мониторинга: прежде всего выбору схемы размещения пунктов наблюдений и установлению перечня показателей.

Выбор местоположения определяется с учётом особенностей природных условий района и оценки возможного влияния на окружающую среду. При прочих равных условиях выбор пространственной схемы пунктов (площадок) наблюдений необходимо осуществлять с учётом следующих взаимосвязанных и взаимозависимых факторов: особенностей функционирования объектов и их предназначения; наиболее уязвимых участков — участков, примыкающих к водной акватории крупных озёр и рек, других зон с особыми условиями использования территорий и особо охраняемых природных территорий; сочетания наибольшего числа различных вариантов природных условий (литологический состав пород, геокриологические условия, рас-



тельность и т. д.); наложения различных видов воздействия; ответной реакции природной среды на воздействие; доступности территории для транспорта и пеших маршрутов.

При мониторинге поверхностных вод ведутся режимные гидрологические и гидрохимические наблюдения на наиболее крупных водных объектах, в местах предполагаемого пересечения акваторий линейными объектами и в их зонах возможного воздействия на водоёмы с одновременным отбором проб воды и донных отложений.

Расположение пунктов контроля состояния поверхностных вод выбирается с учётом процессов переноса поллютантов и пространственной ориентации источников загрязнения. Для наблюдения за гидрохимическим составом поверхностных вод наблюдения проводятся в точках опробования водотоков и озр, которые находятся ниже по течению от техногенных объектов.

Оценка состояние поверхностных вод должна проводиться в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00¹.

Программа наблюдений поверхностных водоемов территории включает отбор проб воды в намеченных пунктах мониторинга, что позволит осуществлять оперативное слежение за качеством вод — отделять внешние (трансграничное загрязнение) и обнаруживать внутренние факторы воздействия. Главная цель проводимых наблюдений заключается в определении уровня геохимического загрязнения рек и крупных озёр вследствие процессов растворения, миграции и накопления химических веществ, попадающих в воды из атмосферного воздуха, при таянии снежного по-

крова, с поверхности с дождевыми, грунтовыми и сточными водами [2, 4].

Для определения качества поверхностных вод по РД 52.24.643-2002² рекомендуется брать пробы на следующие показатели: растворенный в воде кислород, БПК₅, ХПК, фенолы, нефтепродукты, нитриты, нитраты, ион аммония, железо общее, сульфаты хлориды, марганец, магний калий, рН, взвешенные вещества, гидрокарбонаты, цинк, кадмий, свинец, ртуть, медь, кобальт, никель, мышьяк, титан, ванадий, алюминий.

При установлении периодичности наблюдения необходимо опираться на основные периоды подземного питания поверхностных водотоков: в конце зимней межени (март) и глубокой осенью (ноябрь). При этом контролируемые показатели воды водотоков и водоёмов существующей сети наблюдения целесообразно оставить без корректировки.

В заключение необходимо отметить, что в процессе проведения мониторинга должен осуществляться контроль только за теми показателями, которые являются взаимозависящими, взаимодействующими и определяющими основные возможные изменения водных объектов и окружающей среды в целом. Из этого следует, что научно обоснованную мониторинговую сеть необходимо закладывать ещё на стадии проекта с учётом прогнозных оценок, так как в это время можно расположить посты наблюдения, которые будут использоваться и для определения фонового состояния окружающей среды, и на всех других стадиях строительства, эксплуатации и ликвидации производственных объектов.

¹ СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Моргкнига, 2019. 24 с.

² РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 55 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендер Н.И. Прогноз изменения климата и мощности мёрзлых пород Центральной Якутии до 2200 года // География и природные ресурсы. Новосибирск: Изд-во ГЕО, 2009. № 2. С. 50–56.
2. Ганова С.Д., Скопинцева О.В. Мониторинг поверхностных вод и донных отложений на территории расположения объектов транспорта газа в криолитозоне // Известия вузов. Геология и разведка, 2018. № 5. С. 64–68.
3. Ганова С.Д., Цымбал М.Н. Прогнозная оценка состояния водных объектов на период строительства и эксплуатации водозаборных сооружений при освоении нефтяных месторождений Крайнего Севера // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., 2019. Т. 3. С. 406–409.
4. Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов А.И. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М.: Наука, 2001. 186 с.
5. Камышев Е.Г. Методы и технологии мониторинга природно-технических систем севера Западной Сибири. М.: ДАО «ВНИПИгаздобыча», 1999. 203 с.
6. Моисеева Ю.А. Современные изменения климата севера Западной Сибири / Ю.А. Моисеева; науч. рук. О.Г. Савичев // Творчество юных — шаг в успешное будущее: Арктика и её освоение: материалы IX Всероссийской научной молодежной конференции с международным участием с элементами научной школы имени профессора М.К. Корвина, г. Томск, 10–14 октября 2016 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. С. 144–146.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. Книга 1. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 247 с.
8. Пендин В.В., Ганова С.Д. Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. М.: ОАО «ПНИИИС», 2009. 226 с.
9. Строков А.А., Андреева И.Ю., Землянов И.В. Разработка нормативов допустимого воздействия на водные объекты в условиях добычи углеводородов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. М.: Изд-во. Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина. 2013. № 8. С. 32–38.



10. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Районирование территории по степени опасности оседания земной поверхности при проектировании магистрального газопровода в южной Якутии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 10. С. 59–68.
11. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Основные тенденции и последствия динамики современного климата Севера // Климат и природа, М.: Изд-во: Сельмашпроект, 2017. № 1 (22). С. 3–15.
12. Ядзинская М.Р., Соловьева И.В., Галиахметова А.В., Бахарева Н.С. Оценка инженерно-геологических условий в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ)// Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2011. № 11. С. 178–179.

REFERENCES

1. Balobaev V.T., Skachkov YU.B., Shender N.I. Climate change prediction and thickness of frozen rocks of Central Yakutia until 2200. *Geography and natural resources*, Novosibirsk, GEO Publishing House, 2009, no. 2, pp. 50–56.
2. Ganova S.D., Skopintseva O.V. Monitoring of surface water and bottom deposits on the location of gas transportation objects in the cryolithozone. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]*, 2018, no. 5, pp. 64–68.
3. Ganova S.D., Tsymbal M.N. Predictive assessment of the status of water bodies for the period of construction and operation of water intake facilities during the development of oil fields in the Far North. *Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference «New Ideas in Earth Sciences»*. М., 2019, Т. 3, pp. 406–409
4. Goldberg V.M., Zverev V.P., Arbuzov A.I. *Technogenic pollution of natural waters with hydrocarbons and its environmental consequences*. М., Nauka Publ., 2001, 186 p.
5. Kamyshev E.G. Methods and technologies for monitoring the natural-technical systems of the north of Western Siberia. М., DAO «VNIPIgazdobycha», Publ., 1999, 203 p.
6. Moiseeva Yu.A. Modern climate changes in the north of Western Siberia Yu.A. Moiseeva; scientific director O.G. Savichev. *Creativity of the young is a step to a successful future: the Arctic and its development: materials of the IX All-Russian Scientific Youth Conference with international participation with elements of a scientific school named after professor M.K. Korovin, Tomsk, October 10-14, 2016*, Tomsk, TPU publishing house, 2016, pp. 144–146.
7. *Science-applied reference book on climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Release 1. Arkhangelsk and Vologda regions, Komi ASSR. Book 1. L. Gidrometeoizdat, 1989, 247 p.*
8. Pendin V.V., Ganova S.D. *Geoecological monitoring of the territories where gas transportation facilities are located in the cryolithozone*. М., JSC PNIIS Publ., 2009, 226 p.
9. Strokov A.A., Andreeva I.Yu., Zemlyanov I.V. Development of standards for permissible impact on water bodies in the conditions of hydrocarbon production. *Environmental protection in the oil and gas complex*. Publ. : Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkina, 2013, no. 8, pp. 32–38.
10. Strokov L.A., Ermolaeva A.V. Regionalization of the territory according to the degree of danger of subsidence of the earth's surface in the design of the main gas pipeline in southern Yakutia. *News of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, 2016, Т. 327, no. 10, pp. 59–68.
11. Schatz M.M., Skachkov Yu.B. The main trends and consequences of the dynamics of the modern climate of the North. *Climate and nature*, М., Publishing house: Selmashproekt, 2017, no. 1 (22), pp. 3–15.
12. Yadzinskaya M.R., Solovyova I.V., Galiakhmetova A.V., Bakharova N.S. Evaluation of engineering geological conditions in areas of permafrost. *Geology and minerals of the Western Urals*. Perm, Publisher: Perm State National Research University, no. 11, 2011, pp. 178–179.

УДК 550.42 + 504.064.2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ НА ТЕРРИТОРИИ НОВОЙ МОСКВЫ*

А.С. ГУСЕВА, С.А. УСТИНОВ, В.А. ПЕТРОВ

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)*

*35, Старомонетный переулок, г. Москва 119017, Россия
e-mail: alexandra.guseva2011@yandex.ru, stevesa@mail.ru, vlad243@igem.ru*

Рассмотрены вопросы распределения природных радионуклидов (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th) в почвах на территории Новой Москвы. На основе обработки результатов аэрогамма-спектрометрической съёмки и анализа обширного картографического материала (геологические, почвенная, неотектоническая карты, данные спутниковой съёмки SRTM) оценено распределение этих радионуклидов в пределах рассматриваемой площади. Выявлены участки с повышенными содержаниями радионуклидов относительно региональных фоновых значений, характерных для территории Европейской части России. Эти участки рассматриваются в качестве потенциально опасных для окружающей среды и здоровья людей. Использование ГИС-технологий позволило определить возможные антропогенные и естественные причины такого распределения. Повышенные содержания радионуклида ^{40}K (до 2,3%) совпадают с местами расположения сельскохозяйственных угодий, ферм и, скорее всего, связаны с внесением в почвы минеральных удобрений. Максимальные содержания





радионуклида ^{238}U (до $2 \cdot 10^{-4}\%$) локализованы в местах пересечения неотектонического разлома и речных долин. Высокие концентрации радионуклида ^{232}Th (до $11,9 \cdot 10^{-4}\%$) сосредоточены в местах выявления линейных элементов, крупных трещин и неотектонического разлома, установленного авторами в результате построения цифровой модели рельефа, и, вероятно, обусловлены природными причинами (составом исходных пород — субстрата).

Ключевые слова: Новая Москва; геоэкологическое картографирование; геоэкологическая оценка; ГИС-технологии; аэрогамма-спектрометрия; радионуклиды; калий-40; уран-238; торий-232.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-88-94

DISTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOILS ON THE TERRITORY OF THE NEW MOSCOW

A.S. GUSEVA, S.A. USTINOV, V.A. PETROV

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS (IGEM RAS)
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: alexandra.guseva2011@yandex.ru, stevesa@mail.ru, vlad243@igem.ru*

The paper is devoted to the question of natural radionuclides (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th) distribution in the soils on the territory of New Moscow. Based on the processing of the results of aero-gamma-spectrometry and analysis of extensive cartographic material (geological, soil, neotectonic maps, satellite data SRTM), the distribution of these radionuclides within the area under consideration has been estimated. The areas with elevated values of radionuclides relative to regional background values characteristic for the territory of the European part of Russia have been identified. These areas are considered as potentially dangerous for the environment and human health. Using GIS-technology has allowed determining probable anthropogenic and natural causes of the obtained distribution. Elevated contents of radionuclide ^{40}K (up to 2,3%) coincide with the location of agricultural land and farms and, most likely, are associated with excessive mineral fertilization. The maximum contents of the radionuclide ^{238}U (up to $2 \cdot 10^{-4}\%$) are localized at the intersection of the neotectonic fault and river valleys. High concentrations of radionuclide ^{232}Th (up to $11,9 \cdot 10^{-4}\%$) are concentrated at the sites of development of large cracks and neotectonic fault, determined by authors as a result of relief digital model designing, and most likely, are due to natural causes (the composition of the initial rocks — substrate).

Keywords: New Moscow; geoecological mapping; geoecological assessment; GIS technology; aero-gamma-spectrometry; radionuclides; potassium-40; uranium-238; thorium-232.

В настоящее время изучение радиационной обстановки любого города является важной составляющей инженерно-геологических и экологических изысканий. Особенно актуальным становится изучение радиационной обстановки осваиваемых и застраиваемых районов. К таковым относится территория Новой Москвы, которая с 1 июля 2012 г. вошла в состав Москвы, — Троицкий и Новомосковский административные округа.

В рамках реализации проекта по расширению границ города правительство Москвы поставило несколько задач, основными из которых являлись: создание комфортной городской среды и разработка проектов застройки территории, строительство новых социальных объектов (школы, детские сады, больницы).

В связи с тем, что рассматриваемая территория ранее входила в состав Московской области и была слабо застроена, комплексной геоэкологической оценки для неё не проводилось. Ранее для территории Новой Москвы авторами была осуществлена геоэкологическая оценка и предложен прогноз распространения опасных геологических процессов [3].

В данной работе представлены результаты оценки общей радиоэкологической обстановки, а также сформулированы возможные причины установленного распределения концентраций радионуклидов в пределах рассматриваемой площади. В качестве фактического материала выступали карты распределения радионуклидов (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs) и мощности экспозиционной дозы, построенные по данным аэрогамма-спектрометрической (АГС) съёмки, проведённой НПП «Аэрогеофизика» [12].

С помощью АГС можно изучить усреднённые по площади содержания естественных радиоактивных элементов: урана, тория и калия в приповерхностном слое горных пород и почв. АГС ведётся по четырём энергетическим каналам: калий, уран, торий, интегральный канал. Полученные данные пересчитываются на содержание радиоактивных элементов [12].

Природный калий представляет собой смесь трёх изотопов: ^{39}K , ^{40}K и ^{41}K . Изотоп ^{40}K является радиоактивным, поэтому пересчитанные данные, отображённые на картах АГС, можно принять как концентрация ^{40}K без каких-либо поправок. В природе встречаются три радиоактивных изотопа



урана: ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U . Изотопная распространённость изотопа ^{238}U в природе составляет более 99%, поэтому содержанием остальных радионуклидов можно пренебречь и принять данные АГС по радиоактивному урану за содержание ^{238}U . Аналогичная ситуация с торием. Из известных более 30 изотопов тория ^{232}Th обладает наибольшим периодом полураспада и шире распространён в природе, поэтому за содержание радиоактивного тория на картах АГС принимается значение ^{232}Th [2].

Характеристика радиозоологического состояния территории Новой Москвы

Под радиозоологическим состоянием понимается функционирование природной или природно-антропогенной системы в условиях воздействия радиационного фактора на систему в целом и на её отдельные компоненты [8].

Под радиационным фоном понимают мощность экспозиционной дозы ионизирующих излучений в воздухе. Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите (МКЗР) и Всемирного общества здравоохранения (ВОЗ) радиационный уровень 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч), соответствующий естественному, принято считать нормальным, уровень 0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) — допустимым, а уровень свыше 0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч), с учётом эффекта экранирования, — повышенным [1, 10].

В соответствии с имеющимися данными аэрогамма-спектрометрии значения мощности экспозиционной дозы на территории Новой Москвы составляют от 13 до 23,3 мкР/ч, что не превышает допустимых значений. Наименьшие значения описываемой величины характерны для западной части территории, а наибольшие — для юга, северо-востока, востока и центра территории. Максимальный уровень мощности экспозиционной дозы (до 23,3 мкР/ч) отмечается в районах следующих населённых пунктов: д. Рождественно, д. Бабенки, д. Голохвастово, д. Сальково, д. Городок, пос. Шахово, д. Клоково, д. Ширяево, пос. Ильичевка, д. Большое Покровское.

Радиационный фон любой территории складывается из природного фона и радиоактивного загрязнения, обусловленного антропогенным воздействием. Нередко повышенные значения радиационного фона связаны с естественной радиоактивностью горных пород, а также с геохимическими особенностями поведения самих радионуклидов. Поэтому при характеристике радиозоологического состояния территории необходимо оценивать не только антропогенное воздействие, но и природную составляющую, сравнивать по-

лученные данные с региональным фоном, а не с кларками элементов [8].

Авторами проводилось выявление возможных причин распределения радионуклидов (^{238}U , ^{40}K , ^{232}Th , ^{137}Cs). Причём ^{238}U , ^{40}K и ^{232}Th имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Изотоп ^{137}Cs связан преимущественно с антропогенным воздействием. Причинами его нахождения в природных объектах являются аварии на АЭС и глобальные выпадения после испытаний ядерного оружия. Распределение содержания данного радионуклида зависит от многих факторов и авторами он не рассматривается.

Для территории Европейской части России характерны следующие средние значения содержания изучаемых радионуклидов в почвах: ^{232}Th $6,5 \times 10^{-4}\%$, ^{238}U $1,5 \times 10^{-4}\%$, ^{40}K 1,2% [11].

В пределах Новой Москвы отмечаются содержания ^{238}U от $0,3 \times 10^{-4}\%$ до $2 \times 10^{-4}\%$, ^{40}K — от 0,5% до 2,3%, ^{232}Th — от $1,4 \times 10^{-4}\%$ до $11,9 \times 10^{-4}\%$. Максимальные концентрации этих радионуклидов превышают их региональные фоновые значения [5].

Для выявления причин повышенных содержания ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K на изучаемой площади авторами создан ГИС-проект «Новая Москва», который включает в себя большое число векторных и растровых слоёв. Их сопоставление позволило сформулировать предположения о причинах наблюдаемого площадного и локального распределения данных радиоактивных элементов.

Антропогенные причины распределения радионуклидов на территории Новой Москвы

В пределах территории Новой Москвы расположены следующие экологически опасные антропогенные объекты: два полигона твёрдых коммунальных отходов (ТКО) («Малинки», «Саларьево»), полигон промышленных отходов «Летово», завод Мосрентген, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ГНЦ РФ ТРИНИТИ). На радиационную обстановку города могут оказывать воздействие завод Мосрентген и Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ГНЦ РФ ТРИНИТИ). Несмотря на наличие данных о радиационно опасных объектах, участки с максимальными значениями радионуклидов локализованы вне мест их расположения. Стоит отметить, что полигон «Летово» является местом захоронения не только промышленных, но и радиоактивных отходов из г. Троицка. Однако по картам АГС никаких превышений выявлено не было.

Кроме радиационных объектов, находящихся в пределах территории, необходимо учитывать объ-



екты, расположенные в непосредственной близости от границы Новой Москвы, которые могут вносить негативный вклад в радиационную обстановку города. К таким объектам относятся Обнинская АЭС и Подольский завод цветных металлов (ПЗЦМ). Предполагается, что вклад Обнинской АЭС в радиоэкологическую обстановку территории Новой Москвы минимальный. В настоящее время станция выведена из эксплуатации и за длительные годы её работы критических и аварийных ситуаций зафиксировано не было. ПЗЦМ — один из крупнейших заводов в России по производству алюминиевых и цинковых сплавов из лома и отходов цветных металлов. Он расположен в 1 км от городского поселения Львовский (Подольский район), в 7–8 км от восточной границы Новой Москвы. В 1989 г. на территории завода впервые было отмечено радиоактивное загрязнение, причиной которого послужило попадание источников ионизирующего излучения в плавильные печи [9, 13].

Для Московского региона, в том числе и для территории Новой Москвы, западное, юго-западное и южное направления ветра являются преобладающими [7]. Ветер обычно дует от ПЗЦМ в противоположную сторону, т. е. завод не оказывает негативного влияния на радиоэкологическое состояние территории.

Отмечено, что на востоке территории наблюдаются максимальные содержания радионуклидов ^{232}Th и ^{40}K и мощности экспозиционной дозы. Считаем, что Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, расположенный в центре рассматриваемой площади, оказывает неблагоприятное воздействие на восточную часть территории Новой Москвы. Преобладающий западный и юго-западный перенос способствует распространению загрязнения от института на восток и северо-восток площади. Также для этого участка Новой Москвы характерны более низкие высотные отметки по сравнению с западной ча-

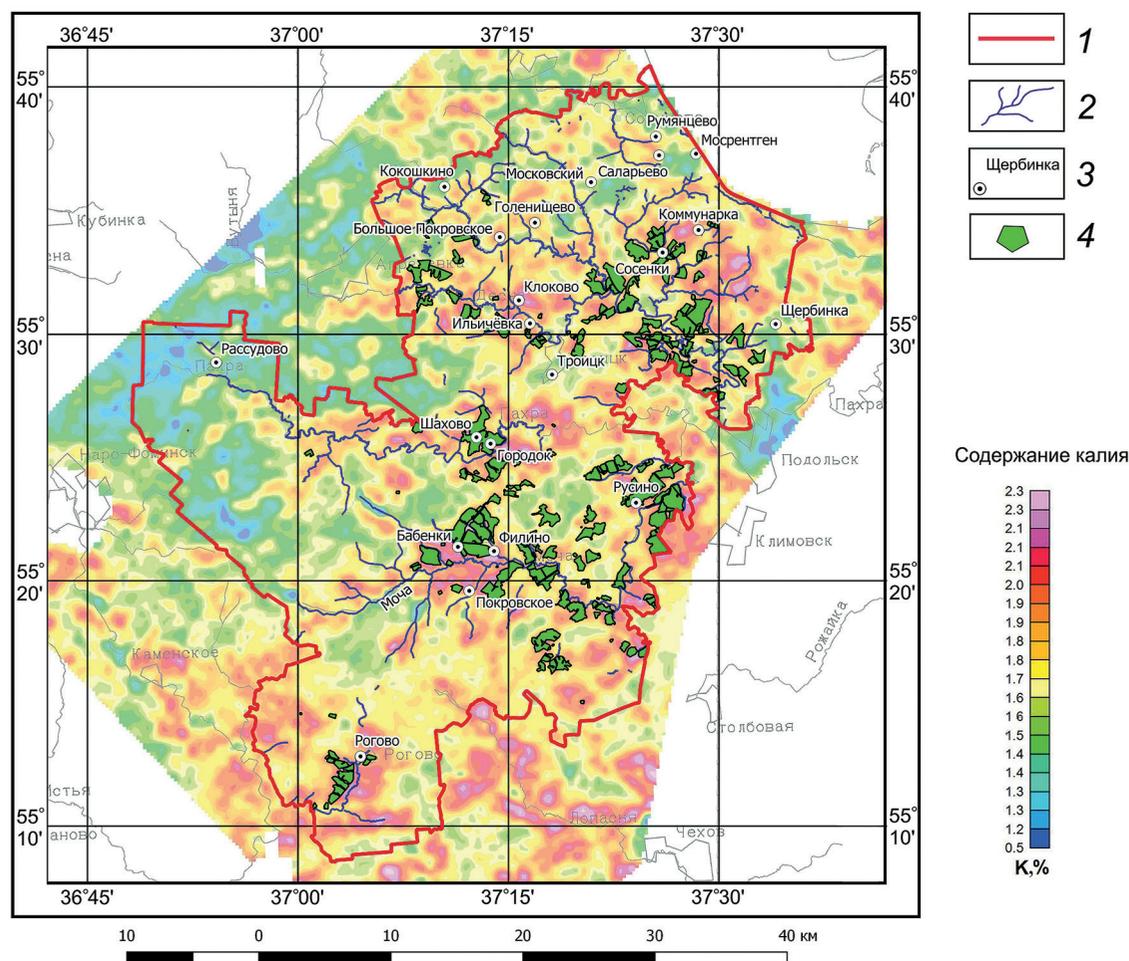


Рис. 1. Связь сельскохозяйственных угодий с распределением ^{40}K : 1 — граница Новой Москвы, 2 — реки, 3 — населённые пункты, 4 — сельскохозяйственные угодья



стью, что способствует аккумуляции загрязняющих веществ и радионуклидов.

Отмечено, что максимальные концентрации ^{40}K приурочены к местам размещения сельскохозяйственных угодий и ферм (рис. 1). Осуществление сельского хозяйства в пределах Новой Москвы способствует развитию водной эрозии почв. Поскольку сельскохозяйственные угодья и фермы расположены в пределах понижений рельефа, то все продукты размыва почв аккумулируются на них. Использование минеральных удобрений является причиной накопления радиоактивного калия (рис. 1).

Естественные причины распределения радионуклидов на территории Новой Москвы

Природными причинами повышенной радиоактивности территории могут быть геологические, тектонические, геохимические, геоморфологические и ландшафтные факторы.

Области максимальных значений рассматриваемых радионуклидов сопоставлялись с геологическими и почвенными картами, а также со схемой линейной сети территории Новой Москвы, построенной авторами на основе данных спутниковой съёмки SRTM [4].

Установлено, что тектонический фактор является главенствующим в распределении ^{238}U и ^{232}Th (рис. 2, 3). На севере территории выделяется региональный разлом, который разделяет три крупных неотектонических блока (Подольский, Рузский и Северный). Вдоль этого разлома, а также в долинах рек Незнайка и Десна наблюдаются повышенные значения урана по сравнению с остальной территорией Новой Москвы. Аналогичная ситуация характерна для неотектонического разлома, проходящего через центр территории, который был выявлен авторами в результате проведения линейного анализа [4, 6]. Восточнее него в долинах рек Ликовка, Десна, Пахра, Моча и южнее истока

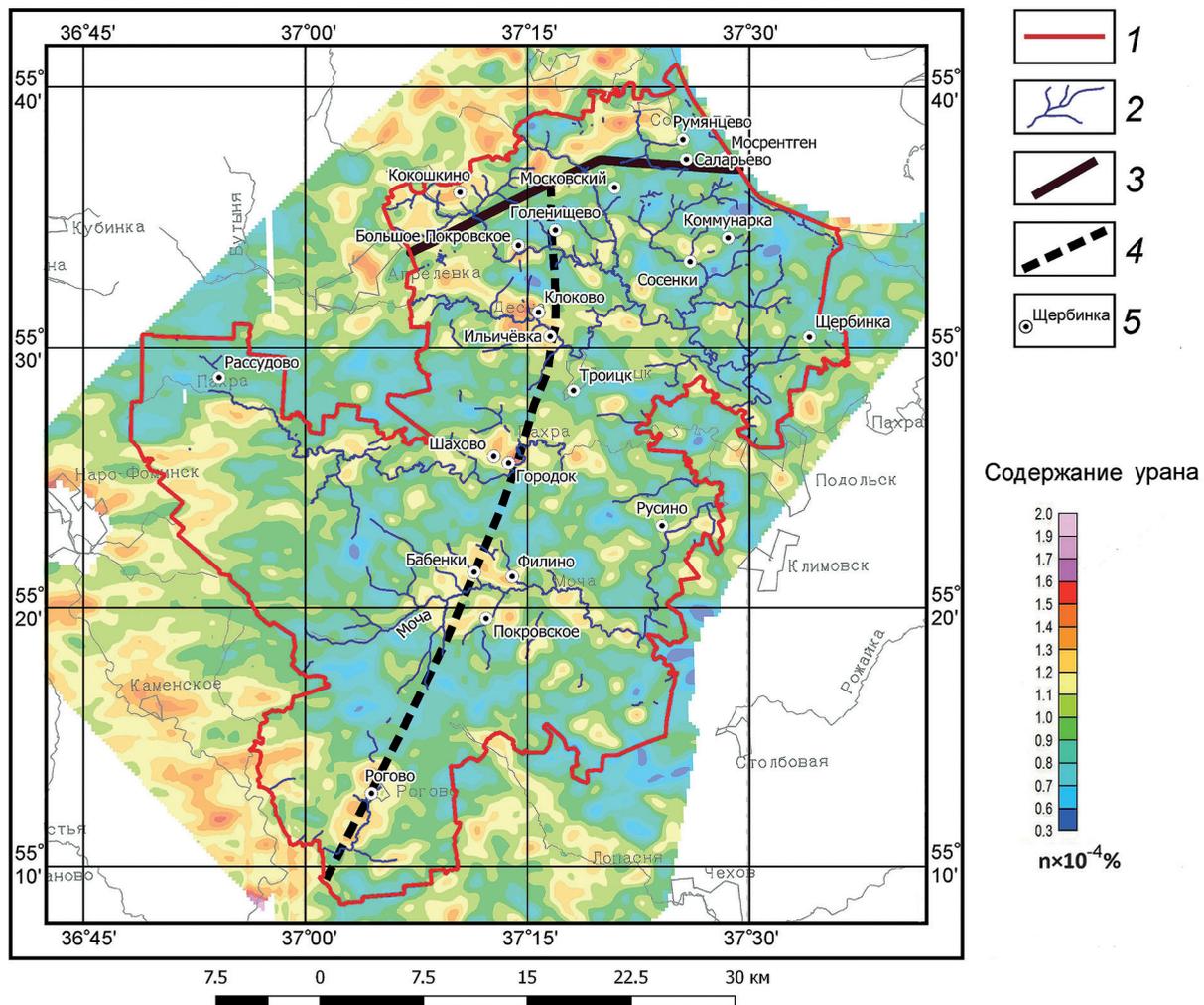


Рис. 2. Связь тектонических структур с распределением ^{238}U : 1 – граница Новой Москвы; 2 – реки; 3 – региональный разлом; 4 – выявленный неотектонический разлом; 5 – населённые пункты

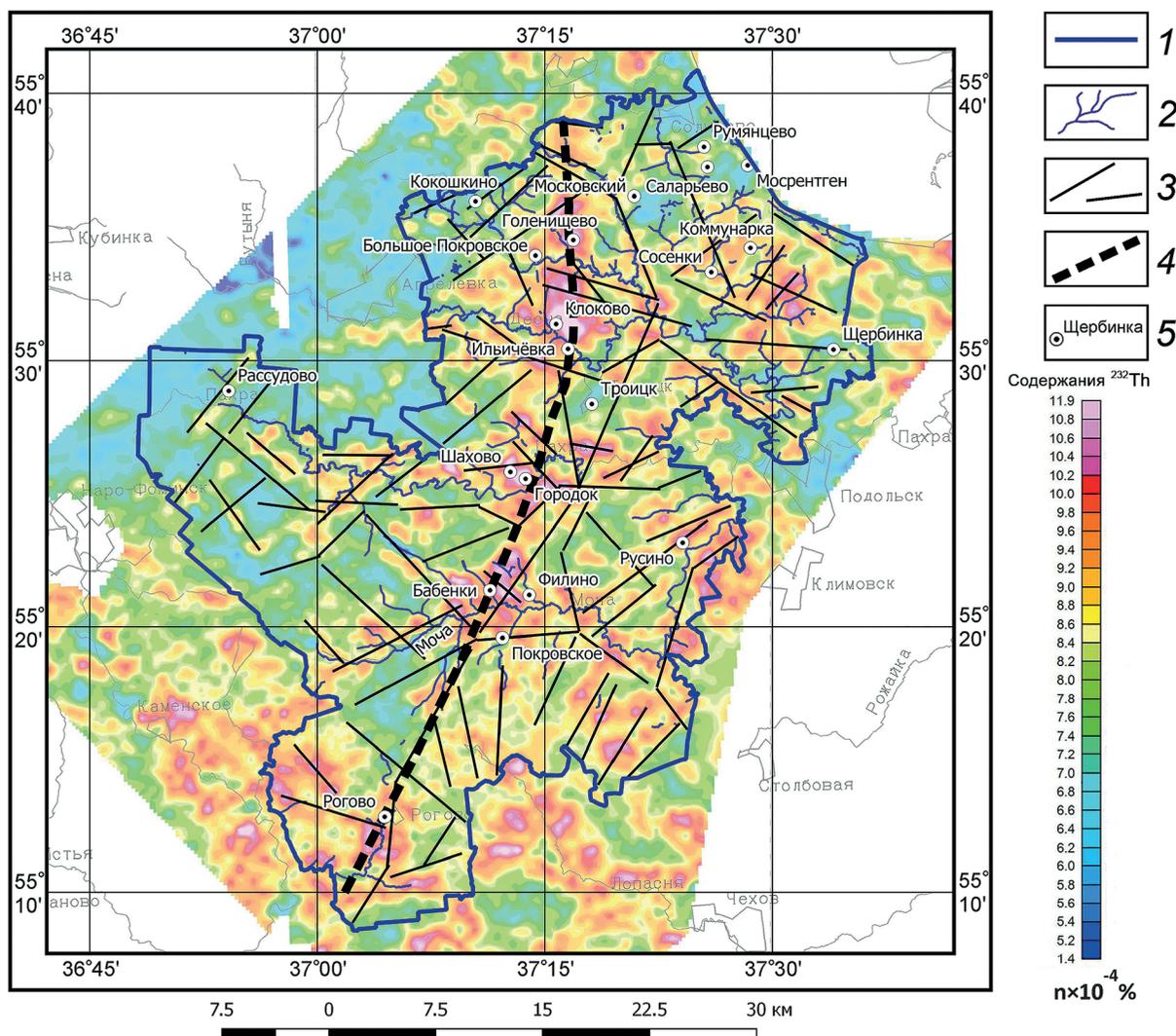


Рис. 3. Связь неотектонических структур с распределением ^{232}Th : 1 – граница Новой Москвы, 2 – реки, 3 – выявленные линейные структуры, 4 – выявленный неотектонический разлом, 5 – населённые пункты

р. Черничка отмечаются максимальные значения ^{238}U . Большинство рек исследуемой территории (Незнайка, Десна, Ликовка, Моча, Пахра) текут с запада на восток, за исключением р. Чернички, которая течёт с севера на юг. Места пересечения неотектонического разлома и речных долин представляют собой ослабленные участки в тектоническом плане, где может легко происходить вынос радионуклидов, которые, учитывая их повышенную миграционную способность, выносятся реками и аккумулируются в речных долинах.

В большинстве случаев повышенные значения ^{232}Th в пределах территории Новой Москвы также соотносятся с выявленными линейными структурами и линейными структурами, а также с крупным неотектоническим разломом север-северо-восточного направления (рис. 3) [4, 6]. Предполагается, что максимальные содержания

тория на исследуемой территории и места их локализации определяются повышенной проницаемостью пород в зонах динамического влияния разлома и крупных трещин.

Заключение

Следует отметить относительно благоприятную радиоэкологическую ситуацию на территории Новой Москвы. Значения мощности экспозиционной дозы находятся в пределах нормы. Выявлены участки максимальных содержаний радионуклидов (^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K), которые превышают региональные фоновые значения.

Предполагается, что наличие участков с максимальным содержанием радиоактивного калия носит антропогенный характер, а тория и урана – природный. Повышенные значения ^{40}K связаны с внесением минеральных удобрений на сельскохо-



зайственных полях и угодьях, а повышенные значения изотопов ^{238}U и ^{232}Th имеют тектоническую природу. Вероятно, это вызвано с их эманацией по линейным неотектоническим структурам, а также по крупному неотектоническому разлому север—

северо-восточного простирания, проходящему через центр территории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (01/2019-И).

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Ю.А. Основы радиационной экологии: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. 268 с.
2. Бетенев Н.Д. Радиоэкологический мониторинг: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2014. 208 с.
3. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А., Игнатов П.А. Геоэкологическая оценка опасных геологических процессов в пределах территории Новой Москвы с использованием ГИС-технологий // Геоинформатика. 2017. № 2. С. 21–29.
4. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Пространственные закономерности локализации радионуклидов на территории Новой Москвы и их связь с неотектоническими структурами // Вопросы естествознания. 2018. № 3 (17). С. 40–46.
5. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Оценка геоэкологического состояния территории Новой Москвы на основе анализа распределения радиоактивных элементов по данным аэрогамма-спектрометрической съемки // Новое в познании процессов рудообразования: Седьмая Российская молодежная научно-практическая Школа, Москва, 13–17 ноября 2017 г. Сборник материалов – Электрон. дан. (1 файл: 37 Мб). М.: ИГЕМ РАН, 2017. С. 95–99
6. Гусева А.С., Устинов С.А., Петров В.А. Выявление неотектонических структур Новой Москвы в контексте геоэкологических исследований // Строение литосферы и геодина-
- мика: Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 8–14 апреля 2019 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2019. С. 55–56
7. Дмитриев А., Бессонов Н. Климат Москвы. Особенности климата большого города. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 315 с.
8. Маркелов Д.А. Радиоэкологическое состояние территорий (оценка, диагностика, прогнозирование): монография. М.: Энергия, 2008. 146 с.
9. О состоянии окружающей среды Московской области в 2012 году. Государственный доклад / Под ред. Н.В. Гаранкина, Н.Г. Рыбальского и В.В. Снакина. М.: НИИ-Природа, 2003. 314 с.
10. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году. Ежегодник / Составитель М.Н. Каткова. Обнинск, 2016. 348 с.
11. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. М.: Изд-во МГУ, 2000. 336 с.
12. Научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» [Электронный ресурс]. 2006–2019. URL: <http://aerogeo.ru/> (дата обращения: 01.08.2019)
13. Атомная энергия 2.0 [Электронный ресурс]. 2008–2019. URL: <http://www.atomic-energy.ru/> (дата обращения: 15.08.2018)

REFERENCES

1. Aleksandrov Ju.A. *Basics of radiation ecology*. Joshkar-Ola, Mar. gos. un-t Publ., 2007, 268 p. (In Russian)
2. Betenekov N.D. *Radioecological monitoring*. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2014, 208 p. (In Russian)
3. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A., Ignatov P.A. Geoecological assessment of hazardous geological processes within the territory of New Moscow using GIS technologies. *Geoinformatika*, 2017, no 2, pp. 21–29 (In Russian)
4. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Spatial regularities of localization of radionuclides in the territory of New Moscow and their relationship with neotectonic structures. *Questions of natural science*, no. 3 (17), pp. 40–46 (In Russian)
5. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Assessment of the geoecological state of the territory of New Moscow based on the analysis of the distribution of radioactive elements according to aerogamma-spectrometric data. *New in the knowledge of ore formation processes* [Seventh Russian Youth Scientific and Practical School, Moscow, November 13–17, 2017], Moscow, 2017, pp. 95–99 (In Russian)
6. Guseva A.S., Ustinov S.A., Petrov V.A. Identification of neotectonic structures of New Moscow in the context of geo-
- ecological studies. *Lithosphere structure and geodynamics* [Materials of the XXVIII All-Russian Youth Conference (Irkutsk, April 8–14, 2019)]. Irkutsk, 2019, pp. 55–56 (In Russian)
7. Dmitriev A., Bessonov N. *Moscow Climate. Features of the climate of the big city*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. 315 p. (In Russian)
8. Markelov D.A. *Radioecological status of territories (assessment, diagnostics, forecasting): monograph*. M., Jenergija, 2008, 146 p. (In Russian)
9. *On the state of the environment of the Moscow region in 2012. State report*. Ed. N.V. Garan'kina, N.G. Rybal'skogo, V.V. Snakina. M., NIA-Priroda, 2003. 314 p.
10. *The radiation situation in Russia and neighboring countries in 2015. Yearbook*. Ed. M.N. Katkova. Obninsk, 2016, 348 p.
11. Titaeva N.A. *Nuclear geochemistry*. M., MGU Publ., 2000, 336 p. (In Russian)
12. *Research and Production Enterprise «Airborne Geophysics», 2006–2019*. Available from: [www: aerogeo.ru/](http://www.aerogeo.ru/) (last accessed 01.08.2019)
13. *Atomic energy 2.0, 2008–2019*. Available from: [www: atomic-energy.ru/](http://www.atomic-energy.ru/) (last accessed 15.08.2019)

ВОПРОСЫ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
GEOLOGIC AND PROSPECTING EDUCATION ISSUES

УДК 378.146

**О РЕЗУЛЬТАТАХ АНАЛИЗА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-МЕТОДИЧЕСКИХ
ФУНКЦИЙ ТЕСТОВОГО ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ
ПО ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ В МГРИ***

Е.С. ГАПОНЕНКО, В.Н. КОМАРОВ

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

Обязательной частью системы управления качеством работы образовательных учреждений является педагогический контроль усвоения студентами материала, который следует рассматривать в качестве важнейшего компонента диагностики и мониторинга обучения. Выполненный с помощью тестовых заданий анализ исследовательско-методических функций текущего контроля знаний по основам палеонтологии, общей стратиграфии и исторической геологии проводился с весеннего семестра 2014 г. по весенний семестр 2019 г. включительно. Он подтвердил, что тестовая система текущего контроля позволяет проводить эффективную диагностику высшего образования, сделать более планомерным и результативным проведение занятий, организовать самоконтроль за ходом усвоения отдельных тем и корректировать лекционный материал для повышения эффективности обучения. Следствием методически верной организации систематического тестового контроля является становление у студентов целостного естественно-научного мировоззрения, культуры учебно-образовательного процесса — собранности, ответственности, аккуратности, способности развивать внутреннюю и внешнюю самоорганизацию и самоконтроль. Проанализированы причины низких результатов тестовых опросов. Доказано, что анализ результатов текущего контроля знаний позволяет выявить у студентов творческие способности и явную склонность к научно-исследовательской деятельности. Данные об итогах тестового контроля учебной работы следует всесторонне использовать для своевременной корректировки образовательных траекторий студентов на всех этапах обучения. Они будут необходимы для развития инициативы в овладении будущей профессией, креативных творческих способностей, умения планировать и прогнозировать результаты своих самостоятельных действий и решать нестандартные задачи.

К л ю ч е в ы е с л о в а: педагогика; образование; тестовый контроль; тестовое задание; контроль знаний; естествознание.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-95-104

**THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF THE RESEARCH-METHODOLOGICAL
FUNCTIONS OF THE TEST CURRENT CONTROL OF KNOWLEDGE
FOR NATURAL SCIENCES IN MGRI**

E.S. GAPONENKO, V.N. KOMAROV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: egorgapoo@gmail.com, komarovmgrid@mail.ru*

An obligatory part of the quality management system of educational institutions is pedagogical control of digestion of the learning material by students, which should be considered as an important component of the diagnosis and monitoring of training. The analysis of research and methodological functions of the current knowledge control on the basis of paleontology, general stratigraphy and historical geology, performed with the help of test tasks, was conducted from the spring semester of 2014 to the spring semester of 2019 inclusive. It has confirmed that the test system of the current control allowed carrying out effective diagnostics of higher education, making more systematic and effective carrying out of lessons, organization of the self-control over the digestion of some topics of the course



and correction lecture material in order to increase the efficiency of the training. The consequence of methodically correct organization of systematic test control is the formation of holistic natural science world view by students, as well as the culture of educational process by students — concentration, responsibility, accuracy, ability to develop internal and external self-organization and self-control. The reasons for the low results of testings are analyzed. It has been proved that the analysis of the results of the current control of knowledge can determine creativity and a clear vocation for the research activities of students. Data on the results of the test control of educational work should be fully used for timely adjustment of educational trajectories of students at all stages of training. They will be necessary for the development of initiatives in mastering the future profession, creative abilities, the ability to plan and predict the results of their independent actions and to solve non-standard tasks.

К е у о р д с: pedagogy; education; test control; test task; knowledge control; natural science..

На современном этапе развития общества к высшим учебным заведениям предъявляются всё более высокие требования. Обязательной частью системы управления качеством работы образовательных учреждений является педагогический контроль усвоения студентами материала, который следует рассматривать в качестве важнейшего компонента диагностики и мониторинга обучения [5, 11, 13]. Беспристрастный и систематический анализ хода изучения студентами учебных дисциплин, в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов и программ курсов, способствует установлению тенденций развития образовательного процесса, соответствию технологии обучения программным требованиям, улучшению организации занятий, прогнозу и обеспечению повышения качества знаний и успеваемости учащихся. Регулярная оценка качества формирования компетенций, т. е. способности применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определённой области, является важным звеном обратной связи между преподавателями и обучающимися, так как позволяет студентам оценить качество своей работы и определить степень освоения дисциплины на текущий момент. Контроль знаний способствует повышению уровня преподавания, так как позволяет преподавателю определить недостатки в организации и осуществлении педагогического процесса с целью своевременной коррекции собственных действий.

Функции контроля взаимосвязаны и разнообразны. На данном этапе самым комплексным по возможностям использования персонифицированным видом объективной проверки знаний является тестирование [2, 7, 8, 12, 14, 15]. Несмотря на то, что тесты не считаются универсальным средством и границы их использования хорошо известны, качественно подготовленный и использованный тестовый инструмент даёт надёжную, соответствующую настоящему положению дел информацию об уровне обученности студентов. Педагогический тест представляет собой систему кратких заданий специфической формы с постепенно повышающейся трудностью, которая создаётся для качественной, объективной и наиболее быстрой оцен-

ки результативности познавательной деятельности обучающихся. Понятие «система» означает, что в тесте приведены взаимодополняемые, упорядоченные по степени сложности задания, относящиеся к одной и той же учебной дисциплине. Содержание тестового задания предполагает введение в него только такого материала, который находится в полном соответствии с учебным планом изучаемого предмета. Тесты всегда создают ярко выраженную проблемную ситуацию, интеллектуальное затруднение, пути преодоления которых требуют применения новых знаний и способов действий. Проблемное обучение приводит к активизации деятельности студентов, что в итоге оказывает серьёзное влияние на качество овладения знаниями, готовит использовать студентов в новых условиях, а также формирует критическое отношение к окружающей действительности. Сильной стороной тестового контроля знаний является возможность охватить в процессе тестирования большой объём материала и тем самым получить действительно широкое представление о знаниях тестируемых студентов и о пробелах в подготовке. Как уже было отмечено, важнейшая функция текущего контроля — функция обратной связи. Она позволила нам создать ясное представление о ходе процесса усвоения учебного материала у студентов, проанализировать сильные и слабые стороны обучающихся в усвоении материала и выявить причины затруднений. Контроль способствовал тому, чтобы учащиеся провели адекватную самооценку уровня знаний и не закрепили неправильное понимание сути рассмотренных понятий и ошибочные навыки.

Целенаправленный тестовый текущий контроль для оценки знаний и получения студентами системного представления об основах палеонтологии, общей стратиграфии и исторической геологии проводился нами с весеннего семестра 2014 г. по весенний семестр 2019 г. включительно [3, 4, 9, 10]. Следует отметить, что обучение естественно-научным дисциплинам, а указанные предметы, решающие важнейшую мировоззренческую задачу восстановления естественной этапности геологического развития Земли, являются их самым ярким примером, составляет необходимую часть об-



разовательной подготовки в высшей школе. Цели изучения фундаментальных естественно-научных дисциплин состоят не только в усвоении понятийного языка предмета и его законов, но и в активном использовании полученных знаний при решении в будущем разнообразных профессиональных задач.

При проведении тестирования на первый план мы выдвигали не контролирующие функции, а исследовательско-методические, что позволило одновременно выявить правильность, объём, глубину освоения знаний, умений, навыков, что очень важно при проектировании методического обеспечения, а также определить эффективность организации методов обучения и содержание занятий по указанным курсам. Текущий контроль выполнялся в период аудиторной работы на лабораторных занятиях, а в двух случаях и на лекциях по общей стратиграфии. Общее число участвовавших в тестировании 17 академических групп составила 350 человек. Студенты были предупреждены о том, что контроль будет регулярным. В начале занятия каждому опрашиваемому выдавался тест, на выполнение которого отводилось около 15—20 мин. После истечения отведённого времени студенты сдавали тестовые бланки преподавателю. Позднее учащиеся получали информацию о том, насколько их ответы правильные, а в случае неправильных ответов — какой из ответов правильный. Обсуждались вопросы о том, как устранить проблемы в усвоении материала, а также где найти нужные для этого фактические данные. В целях проверки прочности усвоенных знаний и их закрепления в тестовые задания постоянно включались вопросы всех ранее пройденных тем, причём с каждым новым тестом круг подобных вопросов расширялся. Это стимулировало закрепление изучаемой информации и соответствующий самоконтроль. Тесты постепенно усложнялись, что требовало от студентов пополнения и углубления знаний. В процессе непрерывного текущего контроля нами применялись следующие типы тестовых заданий: закрытой формы, открытой формы, на соответствие и установление правильной последовательности. Наиболее интенсивно применялись задания закрытой формы, включающие один вопрос и несколько ответов, верным из которых обычно был один. При создании заданий был применён опыт, позволивший выяснить оптимальное число ответов в тестовом задании и число вопросов в тесте [6]. Используемая нами система контроля с применением заданий закрытой формы имела следующие характеристики: в задании было шесть равнопривлекательных по форме и содержанию ответов, что уменьшало вероятность формального

угадывания при определении нужного ответа или исключение заведомо ложного ответа. Во время опроса студентам предлагалось ответить на 10 вопросов. В ряде случаев из шести предлагавшихся ответов правильным были два ответа. В нескольких тестах использовались единичные задания закрытого типа, все ответы в которых были неверными. Студенты были предупреждены о возможности наличия подобных вопросов только после первого их применения. Кроме того, в нескольких тестах в число предложенных вариантов ответов нами были умышленно введены выходящие за рамки понятий и фамилии учёных, которые не имели никакого отношения к рассматриваемым дисциплинам и о которых ничего не говорилось ни на лабораторных, ни на лекционных занятиях.

В заданиях открытой формы студенты должны были дописать ответ в месте или местах прочерка. Ответы состояли из одного, двух или трёх ключевых понятий, знание которых являлось обязательным. Достоинство данного вида заданий состоит в том, что в них отсутствует готовый ответ. Это лишает учащихся возможности угадывания и проверяет запоминание материала, его понимание и воспроизведение. Среди заданий на установление соответствия, смысл которых состоял в определении совпадений элементов одного множества с элементами другого, использовались задания, в которых число подвопросов соответствовало числу ответов, или было меньше числа ответов. Задания на установление верной последовательности требовали выстроить представленное множество элементов ответа в правильной очерёдности. Логически целостные структуры тестовых заданий последних двух типов формируют навыки теоретического и фактологического осмысления различных аспектов объективной реальности. Они активизируют самостоятельную работу испытуемых, способствуют формированию у студентов логического мышления, развивают такие механизмы умственной деятельности, как синтез, творческий анализ, обобщение, абстрагирование, и вырабатывают способность устанавливать междисциплинарные причинно-следственные связи при анализе закономерностей.

В реконструкциях палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии неизбежна значительная доля гипотетичности предлагаемых решений. Это определяется спецификой используемых данных, в которых многие детали безвозвратно утрачены. Предложенные учащимся тесты не содержали элементов гипотетичности и не были перегружены неважными деталями. Содержание вопроса и ответов к нему было выражено лаконично и не допускало неоднозначного толкования их значения.



Ни одно задание не служило подсказкой для ответа на другие имевшиеся в нём вопросы. Кроме того, при подготовке тестов учитывался уровень знаний, возможный в результате проведённых до этого лекций, — содержание морфологических и синтаксических единиц тестовых заданий строго соответствовало форме и содержанию аналогичных единиц, использованных при изложении конкретных учебных дисциплин.

Вводный, а также первый тесты обычно содержали задания только закрытой формы. В последующих тестах в различных пропорциях использовались задания всех видов, что обеспечивало эффективность тестирования. Задания наиболее простой закрытой формы охватывали учебный материал общего характера, имеющий вспомогательное значение, однако без которого глубокого понимания анализируемой темы достичь было невозможно. Ключевые вопросы предъявлялись в тестах открытой формы, а также в заданиях на соответствие и установление верной последовательности. Основные тестовые задания по палеонтологии включали материал по систематике ископаемых организмов, морфологии, образу жизни, времени существования и пороодообразующему значению. Вопросы по стратиграфии и исторической геологии отражали исторические сведения, принципы и методы дисциплин, периодизацию геологической истории Земли, сведения о тектонических структурах, палеогеографических особенностях, органическом мире и полезных ископаемых в различные моменты геологической истории Земли. Вводный тест предлагался студентам на первом занятии. Он реализовал функцию предварительного контроля, который помог выявить исходный уровень знаний студентов, определить багаж их знаний, а также оценить уровень мотивации, т. е. готовность к дальнейшей учёбе. Оценки за вводный тест всегда оказывались самыми низкими или одними из самых низких по сравнению с таковыми всех других проверок, что вполне объяснимо. Ведь помимо материала самого общего характера в него входили и вопросы, хотя и несложные, по палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии, которые студенты ранее целенаправленно ни в школе, ни в университете не изучали. Кроме того, такой результат может быть во многом объяснён и тем, что учащиеся не были предупреждены о данном тесте заранее. На разделы, которые, как показало вводное тестирование, были недостаточно хорошо известны студентам, в ходе учебного процесса было обращено дополнительное внимание преподавателями. Парадоксально, но на вводном опросе по палеонтологии учащиеся показали лучшие за весь последующий семестр результаты по обще-

му знанию об интервалах времени жизни древних животных (41,9—64,7% правильных ответов) и их пороодообразующему значению (70,5%).

Самым сложным по палеонтологии для студентов явился учебный материал, затрагивающий время существования отдельных групп древних организмов. Это выглядит естественно, так как связано с запоминанием большого объёма фактического материала. Было выявлено слабое владение данными по пороодообразующему значению окаменелостей. На третьем месте по степени сложности оказался материал по морфологии ископаемых. Если суммировать результаты ответов по разным темам, можно отметить, что в целом наибольшие трудности у студентов связаны с изучением головных моллюсков, членистоногих и книдарий. Самые хорошие знания студенты показали в области образа жизни древних организмов. Из стратиграфии самым сложным оказался учебный материал, затрагивающий принципы стратиграфии (в среднем 15,4% правильных ответов), методы стратиграфии (21,2%) и понятийно-терминологическую базу дисциплины (21,5%). Что касается конкретных методов расчленения и корреляции, то наибольшие трудности были связаны с изотопными исследованиями (правильных ответов не было) и с циклостратиграфией (в среднем 6,2% правильных ответов). Самые хорошие знания были показаны в области различных аспектов истории стратиграфии — её периодизации, последовательности выделения общих стратонов, совершенствования Международной стратиграфической шкалы, сведений о крупнейших учёных-стратиграфах (29% правильных ответов). Из исторической геологии максимальные сложности вызвал учебный материал, затрагивающий различные аспекты эволюции органического мира (в среднем 10,1% правильных ответов), а также сведения о полезных ископаемых (11,5%). Что касается конкретных интервалов геологической истории Земли, то наибольшие трудности оказались связаны с докембрийским этапом (10,0%) и в меньшей степени — с мезозойской историей (18,4%). Самые хорошие и стабильные знания были показаны студентами в области стратиграфического расчленения изучаемых интервалов геологической истории Земли (в среднем 50,4% правильных ответов), а также, как и при изучении курса стратиграфии, различных исторических аспектов — последовательности выделения стратонов Международной стратиграфической шкалы и данных о учёных-геологах (37,3%). Лучше всего учащимися был усвоен материал по палеозою (в среднем 42,4% правильных ответов) и кайнозою (в среднем 30,0% правильных ответов). Темы, вызвавшие у студентов трудности в усвое-



нии, свидетельствуют о необходимости коррекции соответствующего лекционного материала для повышения эффективности обучения.

Анализ закономерностей изменения результатов усвоения учащимися материала по разным темам показал последовательный прогресс только в изучении материала, касающегося образа жизни ископаемых организмов, методов стратиграфии, а также тектонических структур земной коры. Небольшая положительная динамика показателей успеваемости студентов отмечена также в работе с тестами на установление соответствия. В тоже время выявлено направленное относительное снижение результатов ответов на вопросы, связанные с систематикой ископаемых организмов и полезными ископаемыми, что можно связать со значительным ростом фактического материала, требующегося для запоминания. По остальным разделам анализ полученных данных не выявил отчётливых закономерностей в изменении результатов усвоения студентами материала, которое в целом носило колебательный характер, демонстрируя то подъёмы показателей, то спады разной амплитуды. Это свидетельствует о резко неравномерной самостоятельной работе студентов.

Интересные данные для анализа дало использование вопросов на повторение, обнаружившее в тестах по палеонтологии и стратиграфии последовательное ухудшение результатов. Наиболее отчётливо это показало тестирование по курсу стратиграфии, в ходе которого средний процент правильных ответов на вопросы по повторению материала последовательно уменьшался от 55 до 11,1%. В процессе тестирования по исторической геологии была выявлена более сложная динамика. В ходе первых тестов установлено в целом последовательное улучшение результатов (с 12,9 до 47,3% правильных ответов). В ходе предпоследнего опроса был выявлен резкий спад (15,5% правильных ответов), возможно, связанный с накопившейся усталостью студентов, а затем вновь обнаружен незначительный рост показателей. Были выявлены и закономерности изменения результатов по отдельным темам. Так, в ответах на повторение материала по палеогеографии в ходе первых трёх опросов был зафиксирован отчётливый рост (от 26,7 до 84,2% правильных ответов), а затем резкое падение — до 13,8 и далее до 10,0%. В тоже время ответы на повторение материала по тектоническим структурам в ходе трёх опросов показали последовательный рост от 0 до 10,5% и до 40,0% правильных ответов. Таким образом, тестирование отчётливо продемонстрировало необходимость регулярной самостоятельной работы студентов над ранее изученным, но быстро забываемым ма-

териалом. Следует отметить, что в тестах не использовались вопросы, предлагавшиеся студентам ранее. Каждый раз составлялись новые задания в рамках нужных для повторения тем.

Если сравнивать результаты ответов на тестовые задания разной формы, то можно отметить следующее. В палеонтологии наибольший разброс процента правильных ответов касался заданий закрытой формы (18,1—93,3%). Это, безусловно, связано с тем, что число подобных заданий доминировало в численном отношении, они включали материал разной сложности. Результаты ответов на задания открытой формы и задания на соответствие, которые использовались для проверки знаний о моллюсках, оказались одинаково высокими (73,3% правильных ответов). В стратиграфии и исторической геологии наибольший разброс процента правильных ответов касался заданий открытой формы, отчётливо показавших, что их сложность прямо пропорциональна числу терминов, которые необходимо вписать студентам. Так, в заданиях, где требовалось вставить только одно слово, процент правильных ответов варьировал от 0 до 97,8%. В заданиях, где требовалось указать два термина, показатель составил от 0 до 50%, а в заданиях с тремя пропущенными словами — от 0 до 20%. Похожими оказались результаты ответов на задания закрытой формы с одним правильным ответом (0—84,2%) и на установление нужной последовательности от 0 до 80,6% правильных. Это, вероятно, с одной стороны, связано с тем, что подобные вопросы преобладали и включали материал различной трудности, а с другой — с неравномерной подготовкой студентов. Результаты испытаний, полученные при использовании тестов открытого типа, безусловно, следует признать более достоверными, чем при использовании тестов закрытого типа, которые могут несколько завышать действительный уровень знаний испытуемого, так как в них в какой-то степени сохраняется возможность «попасть» в правильный ответ, не зная его. По палеонтологии наибольшие затруднения вызвали задания на установление правильной последовательности. Они касались материала по моллюскам и дали 0% правильных ответов. По стратиграфии и исторической геологии наибольшие затруднения, причём вне зависимости от содержания, вызвали задания на соответствие, требующие систематизированных знаний, к чему студенты часто оказались не готовы. На три вопроса не смог ответить ни один из испытуемых. Средний процент правильных ответов составил лишь около 10,0%.

Интересный материал для размышления дали закрытые тесты с двумя правильными ответами,



которые использовались в исторической геологии и оказались трудными для учащихся. Полностью на них смогло ответить лишь от 0 до 20% студентов. Из ответивших неправильно от 27,5 до 76,4% студентов указали лишь один из двух правильных ответов.

Очень сильно варьировало и число правильных ответов на вопросы отдельных тем, что можно связать с неравномерной подготовкой студентов. Так, при ответах на вопросы, связанные со временем жизни отдельных групп, число правильных ответов варьировалось от 0 до 80% для моллюсков и от 31,6 до 89,5% для стрекающих. При анализе морфологии у стрекающих число правильных ответов менялось от 36,8 до 73,7%. В процессе ответа на вопросы, затрагивающих различные аспекты истории стратиграфии, число правильных ответов изменялось от 3 до 55,6%, при анализе стратиграфической терминологии — от 0 до 55%, принципов стратиграфии — от 0 до 35%, классификации стратонов — от 0 до 77,8%, методов стратиграфии — от 0% до 56%, тектонических структур — от 0 до 97,8%, палеогеографии — от 0 до 80,6%.

Интересные результаты получены в ходе использования заданий закрытой формы, все предложенные ответы к которым были неправильными. В первый раз, когда подобные вопросы касались простейших, а студенты не были предупреждены о возможности наличия подобных заданий, лишь 15–26% студентов отметили, что среди предложенных вариантов нет правильных ответов. Во второй раз, когда подобное задание касалось моллюсков, уже 46,6% опрошенных ответили верно, что, безусловно, отрадно. В стратиграфии и исторической геологии результаты были совершенно иными. В ходе первого тестового опроса ни один из студентов не отметил, что среди предложенных вариантов ответов на вопросы («учёный какой страны предложил принцип гомотаксальности», «какой принцип позволяет восстановить историю геологического развития в конкретном районе») нет правильных. Самое же удивительное то, что, зная о возможности использования подобных заданий, при повторном их использовании учащиеся показали похожий результат. Вновь ни один (!) из студентов не сообразил, что среди предложенных вариантов нет стратонов, относящихся к категории морфолитостратиграфических и нет ни одного объекта, пригодного для радиоуглеродного датирования. Лишь один студент указал, что среди предложенных вариантов ответов на вопрос «какой период называют веком рыб» нет правильных. Использование в будущем заданий подобного типа, развивающих умение видеть неточности в логике размышлений и проводить различия между

фактами и следствиями, безусловно, будет содействовать более точному анализу учащимися исходных данных.

Отдельно хотелось бы отметить, что в процессе использования тестов был установлен примечательный факт, когда значительное число из неправильно ответивших студентов (от 11,1 до 78%) из предложенных вариантов отдавали предпочтение умышленно введённым нами фамилиям учёных и понятиям, которые не имели отношения к изучаемым дисциплинам и о которых ничего не говорилось на занятиях. Например, многие студенты в качестве принципа, используемого для восстановления геологической истории Земли, выбрали «принцип катастроф», элементарную часть флишевого циклита назвали «вариететом», посчитали, что правило соотношения фаций было установлено Д. Раупом и С. Стэнли, указали, что древние морены называются перлювием, а палеозойскую группу выделил М. Леконт.

В ходе опросов особое внимание было обращено на корреляцию результатов тестирования и выполненных лабораторных занятий. Анализ показал удивительные результаты. В ряде случаев было ясно, что выполнение лабораторных заданий помогло учащимся ответить на вопросы последующих тестов. Так, 80,6% опрошенных выбрало правильную последовательность построения палеогеографических карт, а 66,1% грамотно ответило на вопрос задания открытой формы, касающийся определения фаций. Перед этим в начале семестра студенты выполнили лабораторные работы, связанные с построением палеогеографической карты и разреза к ней. Однако на некоторые другие вопросы, касающиеся интерпретации фаций, было дано лишь от 0 до 21% правильных ответов. Трудно объяснимые результаты были получены в ходе тестового опроса по палеозойской истории Земли, который был проведён после выполнения лабораторной работы по построению литолого-палеогеографических разрезов через Предуральский краевой прогиб. Тем не менее ни один из опрошенных (!) не сумел в тесте открытой формы отметить, какая огромная тектоническая структура образовалась в пермском периоде на востоке Восточно-Европейского кратона. При этом 15,7% студентов ответило, что этой структурой является «Северо-Американская платформа» (!). После выполнения лабораторной работы, анализирующей Гондванское оледенение, 72,4% учащихся правильно отметили, что к началу триаса на Земле было два суперконтинента — Гондвана и Лавразия, а 52,6% — верно ответили на вопрос о времени проявления Гондванского оледенения. Однако лишь 13,8% студентов смогли ответить на



вопросы, подробно обсуждавшиеся на этом лабораторном занятии и затрагивающие детали седиментогенеза нивальных, гумидных и аридных зон. Крайне противоречивые данные были получены после занятия, на котором строилась тектоническая карта мира. Только 20,0% учащихся смогло правильно констатировать, какие тектонические структуры помимо Антарктической, Южноамериканской, Африканской и Австралийской относятся к древним платформам южного ряда.

Данные, полученные в результате тестирования, не только указали на пробелы в знаниях, но и дали интересный материал для анализа причин незнания или неумения, вскрытых у студентов. Данные причины, на наш взгляд, можно разделить на две группы — объективные и субъективные. Отрицательные результаты в первую очередь могут быть объяснены тем, что учащиеся не изучают необходимый для тестирования материал или изучают только часть требуемого учебного материала. Это в том числе связано с пропуском лекций и лабораторных занятий. Выбирая варианты ответов наугад, студенты в подавляющем большинстве случаев ошибаются. Следует отметить, что в некоторых публикациях мы встречали указания на то, что выбирая вариант ответа наугад, студент обычно отдаёт предпочтение самому длинному ответу. Наши исследования данный факт не подтвердили. Было установлено, что у многих студентов очень невысока прочность знаний — способность твердо удерживать в памяти изученный материал. Это, в частности, отчётливо показал вводный тест, продемонстрировавший низкие результаты резидуального контроля, позволившего оценить закрепившийся уровень остаточных знаний по палеонтологии и стратиграфии. Так, несмотря на то, что лучшие показатели в вводном тесте по исторической геологии и были получены именно в ответах на повторение стратиграфии (в среднем 30,5% правильных ответов), этот результат ожидался значительно лучше, ведь с момента сдачи студентами экзамена по курсу общей стратиграфии прошло всего около одного месяца. В ряде случаев низкие оценки по тестированию не связаны напрямую со знаниями студентов. Они могут быть объяснены нюансами индивидуального стиля познавательной деятельности, сформированностью психологических знаний конкретных студентов, их интересами и склонностями, уровнем общих способностей, творческих возможностей, профессиональных намерений. У многих студентов изначально разная подготовка и те из них, кто обладает более активным мыслительным процессом, независимо от учебного опыта оказываются способными применять разные методы для выполнения тестовых

заданий. Существует достаточно много категорий студентов, которые в силу некоторых психических особенностей своей личности плохо соответствуют тестовой методике и получают значительно заниженные оценки. Сюда относятся так называемые тестофобы, которые испытывают необъяснимую боязнь перед самой процедурой тестирования. Нами установлено, что результаты тестирования в одной и той же студенческой группе были иногда очень разными. Очевидно, что это не всегда связано с различной сложностью материала, а определяется случайными причинами, каким-то образом влияющими на эмоционально-психологическое состояние студенческой группы. Используемые тесты, на наш взгляд, точно выражали содержание и должны были быть понятны для всех испытуемых, чтобы исключить возможность ошибочных ответов по формальным признакам. Тем не менее определённая доля случайных ошибочных ответов, без сомнения, была вызвана невнимательностью студентов при прочтении вопроса, а также неправильным пониманием содержания задания. Такая индивидуальная особенность, как замедленный темп мышления, не должна считаться причиной низких оценок, так как студентам в случае необходимости давалось на работу с тестом дополнительное время. Неспособность справиться с тестом у отдельных категорий учащихся может быть вызвана не незнанием предмета, а другим фактором, например, медленным чтением у слабовидящих, плохим знанием языка у иностранного студента. К отрицательным результатам в некоторых случаях могли также привести усталость студентов и плохое самочувствие.

Считается, что к недостаткам тестирования, как формы педагогического контроля, относится невозможность проверить глубинные исследовательские качества студента, умение творчески мыслить. Действительно, такие характеристики качества усвоения учебной программы, как способность подтвердить свой ответ конкретными примерами, умение логично выражать свои идеи и мысли, нестандартное мышление, диагностировать тестированием проблематично. Тем не менее анализ результатов позволил нам у ряда студентов выявить творческие способности и явную склонность к научно-исследовательской деятельности. Они продемонстрировали результаты на уровне осознанного владения учебным материалом по проверяемым дисциплинам, умение сопоставлять разные стороны действительности и предполагать границы применимости понятий. Студенты оказались способны анализировать, проводить сравнение и обоснование выбора методов решения заданий в практико-ориентированных ситуациях. Дальнейшее общение с преподавателями развило



у них новые приёмы познавательной деятельности, интерес к творческому поиску и способность решать научные задачи. Бесспорным доказательством правильности выявления тестированием способных студентов является то, что с начала использования тестового текущего контроля в 2014 г. на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ были подготовлены и вышли в свет 29 научных публикаций, выполненных преподавателями совместно со студентами.

Для получения объективных данных об уровне знаний обучаемых нами были использованы контрольные карты — один из основных современных методов статистической обработки и анализа результатов тестирования [1]. Контрольные карты, на которых показывался процент правильных ответов испытуемых на тот или иной вопрос теста, позволили подвергнуть корректировке целый ряд тестовых заданий, которые в будущем использоваться не будут. Это затронуло тестовые вопросы, на которые ответило абсолютное большинство студентов. Так, при выборе из малочленистых трилобитов, белемноидей, наутилоидей, гастропод, аммоноидей и многочисленных трилобитов группы, некоторые представители которой не обитали в морской воде, правильно ответило 93,3% опрошенных. На вопрос «когда археоциаты принимали участие в рифообразовании» правильно ответило 89,5%. Почти 97,8% студентов верно указало, что твёрдая оболочка Земли, образованная земной корой и верхней частью мантии называется литосферой, а 84,2% — грамотно отметило, что основоположником учения о типах литогенеза является Н.М. Страхов. Такой результат, по всей видимости, говорит о том, что вопросы слишком простые и не показательны при проверке знаний. Вопросы становятся познавательной проблемой, если они представляют собой определённую трудность, т. е. требуют размышления над изучаемой проблемой и опираются на прежний опыт и знания учащихся. Контрольные карты выявили также задания (к ним в первую очередь относятся вопросы на соответствие и задания открытой формы), которые оказались трудными для большинства обучающихся. В частности, ни один из опрошенных не смог расположить предложенные группы (разнозубые двусторонки, анарцестиды, эвриптероидеи, литоцератиды, малочленистые трилобиты и цератитиды) в порядке их последовательного появления на Земле. Большие затруднения, как уже было отмечено, вызвали и многие вопросы вводного теста. Так, 81,9% студентов не смогли ответить на вопрос «когда у организмов впервые произошло массовое возникновение скелета», и 79% учащихся не смогли выбрать самый маленький таксон из ряда пред-

ложенных (тип, отряд, класс, семейство, царство, раздел). Ни один из опрошенных не смог выявить соответствие стратонтов общей шкалы и их геохронологических эквивалентов, а также расположить в правильном порядке от мелких к крупным предложенные геохронологические подразделения. Лишь 3% студентов смогли ответить на вопросы: «как называется стратон общей шкалы, сформировавшийся во время климатического полуритма» и «как называется элементарная часть флишевого циклита». Ни один обучающийся не смог вспомнить, что гипотеза, выдвинутая в 30-е гг. XIX в. и исходившая из того, что Земля была первоначально расплавленной, а затем охлаждалась, покрываясь твёрдой корой, называется гипотезой контракции. Низкие результаты, как уже было отмечено, не всегда можно объяснить реальной сложностью заданий. Они могут быть обусловлены слабым знанием материала, а также определёнными стереотипами мышления. Это, в частности, отчётливо выявили задания, представляющие своего рода «смысловые ловушки», провоцирующие студентов «идти по пути наименьшего сопротивления». Так, на вопрос «как называется элементарная часть флишевого циклита» 97% неправильно выбрало предложенный вариант «элемент», а на вопрос «к области какой складчатости относится Салаирский кряж» 66,6% из неправильно ответивших выбрало предложенный вариант «салаирской». В любом случае все вопросы, вызвавшие максимальные затруднения, следует использовать для коррекции содержания обучения, уделяя им больше внимания в ходе прочтения лекций и проведения лабораторных занятий в будущем. Дальнейшее использование бланковых тестов позволит сформировать банк калиброванных, полученных на представительной выборке испытуемых, постоянно обновляющихся с учётом педагогической практики и потребностей общественного развития тестовых заданий с устойчивыми статистическими характеристиками. Появление подобного банка сможет обеспечить предпосылки к созданию и дальнейшему использованию автоматизированных средств для проведения контрольных тестовых мероприятий, оценивающих уровень знаний с минимальной погрешностью и имеющих оптимальную структуру по соотношению «качество оценки — затраты на проведение тестирования». Автоматизированный тестовый контроль может оказаться полезным и для организации дистанционного обучения, которое представляется в будущем как перспективная интегральная форма образования.

Качество образования является сложным и многогранным понятием и, прежде всего, связывается с результативно-целевой направленностью



педагогического процесса, которая оценивается совокупностью полученных студентами знаний, умений и навыков по завершении определённого этапа обучения. Выполненный с помощью тестовых заданий анализ исследовательско-методических функций текущего контроля знаний по естественно-научным дисциплинам подтвердил, что тестовая система текущего контроля позволяет проводить эффективную диагностику высшего образования, сделать более планомерным и результативным проведение занятий, организовать самоконтроль за ходом усвоения отдельных тем и корректировать лекционный материал для повышения эффективности обучения. Следствием методически верной организации систематиче-

ского тестового контроля является становление у студентов целостного естественно-научного мировоззрения, культуры учебно-образовательного процесса — собранности, ответственности, аккуратности, способности развивать внутреннюю и внешнюю самоорганизацию и самоконтроль.

Данные об итогах тестового контроля учебной работы следует всесторонне использовать для своевременной корректировки образовательных траекторий студентов на всех этапах обучения. Они будут необходимы для развития инициативы в овладении будущей профессии, креативных творческих способностей, умения планировать и прогнозировать результаты своих самостоятельных действий и решать нестандартные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белопольская Н.М. Тестирование в системе качества образовательного процесса // Информационные технологии в обеспечении нового качества высшего образования: Сборник научных статей. Т. 2. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. С. 225–229.
2. Булгаров М.А. Роль тестирования в текущем контроле знаний студентов // Практико-ориентированное обучение: опыт и современные тенденции. Краснодар, 2017. С. 268–269.
3. Гапоненко Е.С., Новгородова Л.В., Леккай Е.С., Еременко Р.У., Комаров В.Н., Андрухович А.О. Об опыте использования тестовых заданий для текущего контроля знаний по исторической геологии в МГРИ // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. № 3. С. 86–92.
4. Грибовская О.А., Комаров В.Н. Об опыте применения тестов для текущего контроля знаний по основам палеонтологии в МГРИ-РГГРУ // Проблемы палеоэкологии и исторической геоэкологии. Тезисы докладов. Москва-Саратов, 2018. С. 20–22.
5. Губин В.А., Топунова М.К., Ястребова Л.В. Оценка качества подготовки специалистов с использованием информационных технологий // Информационные технологии в обеспечении нового качества высшего образования: Сборник научных статей. Кн. 1. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. С. 174–177.
6. Гусликов В.М., Кошуг Д.Г., Федющенко С.В. Оптимизация тестовых заданий закрытой формы, используемых в компьютерных системах контроля знаний // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2009. № 3. С. 59–61.
7. Ершова О.В., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Тестовый контроль в системе рейтинговой оценки знаний студентов технического университета // Вектор науки ТГУ. Серия: Педагогика, психология. 2015. № 2. С. 52–55.
8. Кобзева Н.И. Тестовый контроль как средство интеграции фундаментальных естественнонаучных знаний студентов университета // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 7. С. 112–119.
9. Комаров В.Н., Грибовская О.А. Об опыте использования тестовых заданий для текущего контроля знаний по основам палеонтологии в МГРИ-РГГРУ // Известия вузов. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 67–72.
10. Комаров В.Н., Андрухович А.О., Панова А.В. Об опыте использования тестовых заданий для текущего контроля знаний по общей стратиграфии в МГРИ-РГГРУ // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 79–83.
11. Крацов Ю.В. Совершенствование тестового контроля знаний студентов по техническим дисциплинам // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 12. Ч. 2. С. 245–247.
12. Краснобаева С.Д., Кудряцева Л.Г., Логутенкова Т.В. Тест как система контроля знаний в вузе // Профессиональное образование: теория и практика. 2015. № 1. С. 194–200.
13. Мишурин О.А. Разработка контрольно-измерительных материалов для оценки учебных достижений студентов в условиях реализации компетентного подхода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12. С. 909–913.
14. Москвалова О.И., Степанов А.Г. Исследование результатов тестовой формы контроля знаний // Инновации в образовании. 2017. Вып. 2. С. 84–89.
15. Рыскина Л.Л. Тестирование как метод проверки и оценки текущей успеваемости обучающихся // Вестник ТГПУ. 2017. № 9. С. 132–135.

REFERENTS

1. Belopolskaya N.M. Testing in the quality system of the educational process. *Information technologies in providing new quality of higher education: Collection of scientific articles*, V. 2, Moscow: Research center of problems of quality of training of specialists, 2010, pp. 225–229. (In Russian)
2. Bulgarov M.A. The role of testing in the current control of students knowledge. *Practice-oriented training: experience and current trends*, Krasnodar, 2017, pp. 268–269. (In Russian)
3. Gaponenko E.S., Novgorodova L.V., Lekai E.S., Eremenko R.U., Komarov V.N., Andrukhovich A.O. About experience of use of test tasks for the current control of knowledge on historical geology in MGRI. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2019, no. 3, pp. 86–92. (In Russian)
4. Gribovskaya O.A., Komarov V.N. About experience of application of tests for the current control of knowledge on bases



- of paleontology in MGRI–RGGRU. *Problems of paleoecology and historical geology. Thesis of reports*, Moscow–Saratov, 2018, pp. 20–22. (In Russian)
5. Gubin V.A., Topunova M.K., Yastrebova L.V. Assessment of the quality of training using information technology, *Information technologies in providing new quality of higher education: Collection of scientific articles*, V. 2, Moscow, Research center of problems of quality of training of specialists, 2010, pp. 174–177. (In Russian)
 6. Guslikov V. M., Koshug D. G., Fedushenko S. V. Optimization of test tasks of the closed form, used in the computer systems of knowledge control. *Bulletin of Moscow University. Series 4. Geology*, 2009, no. 3, pp. 59–61. (In Russian)
 7. Ershova O.V., Chuprova L.V., Mullina E.R. Test control in the rating system of students knowledge of technical University. *Vector science of TSU. Series: Pedagogy, psychology*, 2015. no. 2, pp. 52–55. (In Russian)
 8. Kobseva N.I. Test control as a means of integration of fundamental natural science knowledge of University students. *Bulletin of Orenburg state University*, 2015. no. 7, pp. 112–119. (In Russian)
 9. Komarov V.N., Gribovskaya O.A. About experience of use of test tasks for the current control of knowledge on bases of paleontology in MGRI–RGGRU. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2014, no. 4, pp. 67–72. (In Russian)
 10. Komarov V.N., Andrukhovich A.O., Panova A.V. About experience of use of test tasks for the current control of knowledge on the general stratigraphy in MGRI–RGGRU. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 2016, no. 2, pp. 79–83. (In Russian)
 11. Kravcov Y.V. Improvement of test control of students knowledge in technical disciplines. *Proceedings of TulaSU. Technical sciences*, 2013, issue 12, part 2, pp. 245–247. (In Russian)
 12. Krasnobaeva S.D., Kudryavtseva L.G., Logutenkova T.V. Test as a system of knowledge control in high school. *Professional education: theory and practice*, 2015, no. 1, pp. 194–200. (In Russian)
 13. Mishurina O.A. Development of control and measuring materials for the assessment of educational achievements of students in the implementation of the competence approach. *International journal of applied and fundamental research*, 2016, no. 12, pp. 909–913. (In Russian)
 14. Moskaleva O.I., Stepanov A.G. Study of the results of the test form of knowledge control. *Innovations in education*, 2017, issue 2, pp. 84–89. (In Russian)
 15. Ryskina L.L. Testing as a method of checking and evaluating the current performance of students. *Bulletin of TSPU*, 2017, no. 9, pp. 132–135. (In Russian)
-

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ
CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

УДК 55

О МОНОГРАФИИ «НАУКА ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА ПЛИТ»^{1*}

С.А. САМОХВАЛОВ, В.Н. КОМАРОВ

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

К л ю ч е в ы е с л о в а: геология; тектоника литосферных плит; псевдонаука.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-105-107

ABOUT THE MONOGRAPH «SCIENCE GEOLOGY AND PLATE TECTONICS»

S.A. SAMOCHVALOV, V.N. KOMAROV

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

К е у w o r d s: geology; plate tectonics; pseudoscience.

Рецензируемая книга, посвященная памяти профессора М.В. Муратова, помимо предисловия, введения и заключения включает семь глав. Список использованной литературы насчитывает 108 наименований.

В первой главе кратко рассказывается о том, что такое наука. Отмечается, что это одна из форм общественного сознания, которая направлена на выработку объективных знаний о действительности путём сбора, анализа и систематизации фактов и выявления причинно-следственных связей между ними. Каждая наука обладает своим объектом изучения и системой методов исследования. Полученные новые знания и обобщения формулируются в виде гипотез — предположительных суждений о закономерной связи явлений. Гипотеза обязана удовлетворять ряду требований, в том числе она должна быть проверяемой и логически непротиворечивой. В случае подтверждения новыми фактами гипотеза может перерасти в теорию — высшую форму научного познания. Рано или поздно гипотезы и многие теории перестают соответствовать огромной массе вновь открываемых фактов, уступают место новым теоретическим обобщениям, но, как правило, не исчезают пол-

ностью. Одной из важнейших закономерностей развития естественных наук является преемственность. Помимо гипотез и теорий, основанных на выявленных закономерностях, в геологии широко используются теоретические построения иного рода, основанные на непосредственном обобщении наблюдаемых фактов. В.И. Вернадский называл такие концепции «эмпирическими обобщениями».

Во втором разделе проанализировано возникновение геологии как науки, которое обычно относят к середине XVIII в. Охарактеризованы работы Н. Стенона, Ж. Бюффона, Д. Гёттона, А.Г. Вернера, М.В. Ломоносова. Сделан вывод о том, что к первым десятилетиям XIX в. европейская геология сформировалась как самостоятельная наука. Борьба между сторонниками непутизма и плутонизма завершилась победой плутонистов.

Содержание третьей главы посвящено героической эпохе развития геологии, примерно совпадающей с первой половиной XIX в. Главными достижениями этого периода были разработка региональных стратиграфических шкал, развитие палеонтологии и биостратиграфии, построение первых вариантов меж-

¹Караулов В.Б. Наука геология и тектоника плит. М.: ЛЕНАНД, 2019. 200 с.



дународной стратиграфической шкалы, начало площадного геологического картирования и изучения тектонических структур. К героическому периоду развития геологии относится появление и оживлённое обсуждение первых геотектонических гипотез. Составление геологических карт, описание и изучение изображённых на них сложных тектонических структур, особенно широко распространённых в горных областях, требовало объяснения причин и условий их формирования в связи с ростом гор. Показано, что первой поистине глобальной тектонической концепцией стала гипотеза контракции, быстро завоевавшая признание геологического сообщества, продолжавшееся во второй половине XIX в. и даже позже.

В четвёртой главе приведены сведения о классическом периоде развития геологии, примерно совпадающем со второй половиной XIX в. В это время возникло важнейшее эмпирическое обобщение о строении и эволюции крупнейших структурных элементов материков — учение о геосинклиналях и платформах. Автор обращает внимание на то, что данное обобщение является фактической основой наших знаний о тектонических структурах материков, а не одной из геотектонических гипотез, представляющих собой предположения о причинах, приводящих к формированию таких структур. Характерной чертой классического периода развития геологии является отделение от общего ствола геологической науки ряда важных научных направлений с собственными объектами изучения и особой методикой исследования. По мере развития этих направлений они переросли в самостоятельные научные дисциплины, такие как петрография, палеогеография, геоморфология, гидрогеология и учение о полезных ископаемых.

Далее в монографии описан критический период развития геологии, названный так В.Е. Хаиным и охватывающий первую половину XX в. (примерно до 1960 г.). В это время острой критике подвергались как «общепринятые», казавшиеся ранее незыблемыми теоретические установки, так и многие вновь выдвигаемые предположения. По мере того, как концепция контракции теряла своих сторонников, предлагались многие новые геотектонические гипотезы как регионального, так и планетарного масштабов, но ни одна из них не завоевала всеобщего признания. Успехи геофизики способствовали разработке моделей глубинного строения Земли, а открытие явления радиоактивного распада позволило создать методики установления радиоизотопного возраста горных пород. Но главной особенностью рассматриваемого периода было совершенствование учения о геосинклиналях и платформах, позволившее создать ясное представление о строении и эволюции структур верхней части земной коры материков. Показано, что направленность исследований геосинклиналей и платформ в нашей стране и за рубежом существенно различались. Если внимание зарубежных

исследователей было обращено в первую очередь на выяснение происхождения и глубинных причин развития геосинклиналей, то в отечественной литературе на первое место выдвигались вопросы, связанные с изучением морфологии и вещественного наполнения конкретных структур и их классификация. Особенностью рассматриваемого этапа было серьёзное изучение докембрийских образований. Архейские и протерозойские отложения были выделены почти на всех континентах и расчленены на местные стратиграфические единицы. Предлагались разные варианты их корреляции, но объективных данных для уверенного сопоставления было недостаточно. В первой половине XX в. усилиями геофизиков, геохимиков и петрологов были разработаны модели строения и состава земной коры, а также более глубоких геосфер. Поскольку гипотеза контракции перестала удовлетворять большинство специалистов, многие европейские геологи стали предлагать собственные модели образования складчатых структур и тектонических покровов, основанные на деятельности подкорковых течений, сил гравитации и других процессов. Однако ни одна из этих моделей не была универсальной и не могла претендовать на статус новой глобальной геотектонической гипотезы. В условиях разброса мнений о причинах тектогенеза неожиданно широкое распространение приобрели идеи, связанные с предположением о крупных горизонтальных перемещениях континентов. Автором рассмотрены пульсационная гипотеза, которая могла бы стать (но не стала) новой глобальной геотектонической концепцией, гипотезы, рассматривавшие в качестве главной причины тектогенеза подкорковые конвекционные течения и существенное расширение Земли. Объединение этих гипотез в единую глобальную концепцию не представлялось возможным. Иллюзия, что невероятно сложное строение Земли можно объяснить одной причиной, рассеялась. Слишком велики были разногласия, что естественно объяснялось недостатком данных о строении даже верхней части земной коры, почти полным отсутствием сведений о составе и строении её нижней части и более глубоких геосфер. О геологическом строении дна океанов также не было известно почти ничего.

В шестой, самой большой главе (103 с.) подробно изложены данные о расцвете и кризисе традиционной геологии во второй половине XX в. В этот период дальнейшее развитие получило учение о геосинклиналях и платформах, существенно дополненное новыми данными о геологических формациях и тектонических режимах. Принципиальные изменения произошли в подходах к совершенствованию стратиграфических и геохронологических шкал. Геофизические и геохимические методы позволили далеко продвинуться в изучении глубинной геологии. В начале рассматриваемого периода ещё продолжались детализация и обсуждение выдвинутых ранее геотектонических гипотез. Но с конца 70-х гг. положе-



ние в геотектонике и в геологии в целом резко изменилось. Всеобщее внимание привлекла неомобилистская гипотеза, получившая название «новая глобальная тектоника», позже переросшая в концепцию «тектоники литосферных плит». Возросший интерес к мобилистским построениям стимулировался распространением представлений о приоритете горизонтальных движений земной коры над вертикальными, появлением первых результатов палеомагнитных исследований и новыми данными о строении дна океанов, связанных с началом глубоководного океанского бурения. Резко увеличившееся количество новых данных (прежде всего о строении дна океанов) и появление концепции тектоники литосферных плит, объявленной «первой в истории геотектоники научной теорией», дало повод некоторым исследователям говорить о научной революции в геологии. С другой стороны, беспрецедентное рекламирование и навязывание геологическому сообществу концепции тектоники плит, как единственно возможной геотектонической теории, привело к глубокому кризису классической традиционной геологии.

Заключительный раздел посвящён обсуждению вопроса о том, является ли «теория» литосферных плит наукой или псевдонаукой. Проблема установления критериев для различения научных и ненаучных концепций далеко не проста. Одной из важнейших закономерностей развития науки является кумулятивность, преемственность научного знания. Новая гипотеза или теория, развивающая науку, не отбрасывает накопленные ранее знания, а включает их в свой багаж. Сформулированные ранее закономерности не исчезают полностью, а становятся составным элементом новой теории в качестве частного случая. Это правило, сформулированное Н. Бором, получило название «принци-

па соответствия» и рассматривается теоретиками науки как главный критерий научности новой концепции. К «теории» тектоники литосферных плит принцип соответствия неприменим. Традиционную геологию тектоника плит не признаёт, она её практически уничтожает, стремясь заменить собой. Следовательно, проверки на научность она не выдерживает.

Концепция тектоники плит представляет собой сложную наукообразную систему, элементы которой тесно связаны между собой, вытекают один из другого, но в основании этой системы вместо твёрдо установленных научных фактов мы находим только умозрительные предположения. Если какие-то факты (в основном геофизические) и привлекались, то интерпретация их неоднозначна. На основе детального всестороннего анализа автор приходит к заключению о том, что концепция тектоники литосферных плит является псевдонаукой, представляющей лёгкую возможность имитации научной деятельности, по большому счёту бесполезной и никому не нужной. Только новое, независимое от тектоники плит, обобщение огромного фактического материала по геологическому строению дна океанов с учётом последних, объективно интерпретированных геофизических данных позволит геологической науке выйти из затянувшегося кризиса и вернуться на нормальный эволюционный путь развития.

Монография В.Б. Караулова написана в лучших традициях классической русской геологической школы и является результатом многолетней неутомимой деятельности автора на поприще геологии. Книга будет интересна геологам и географам — научным работникам, преподавателям и студентам старших курсов, а также всем интересующимся науками о Земле.

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]), включенном 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 представлять в виде изображений и в исходном виде, доступном для правки (т. е. с сохранением отдельных слоёв — кривых, надписей). На обороте каждого рисунка указываются 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 непериодических 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.B., 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.rasep.ru/files/documents/1_2_kirillovametrec_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 СД-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. Оттиски авторам не высылаются.

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

16. Плата за публикацию статей не взимается.