

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 6
НОЯБРЬ—ДЕКАБРЬ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1958 г.

Выходит 6 раз в год



ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

МОСКВА-2018

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ СТАТЕЙ, ПУБЛИКУЕМЫХ В ЖУРНАЛЕ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка», включенным решением ВАК в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», публикуются статьи, представляющие научный и практический интерес. Статьи, направляемые в редакцию, должны удовлетворять следующим требованиям:

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

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

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

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

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

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

7. Рисунки должны быть четко выполнены в черно-белом и цветном виде в компьютерных графических редакторах (CorelDRAW, Photoshop и др.). Компьютерные рисунки необходимо предоставлять в виде изображений и в исходном виде, доступном для правки (т. е. с сохранением отдельных слоёв — кривых, надписей). На обороте каждого рисунка 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.V., Author C.C. (транслитерация) Title of article (перевод на английский). Title of Journal (транслитерация и перевод на английский), 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49-53. (In Russ). Более подробно см. О.В. Кириллова «Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам». http://academy.rasep.ru/files/documents/1_2_kirillovometrec_2012.pdf Транслитерация приводится по системе BSI (см. <http://ru.translit.net/?account=bsi>).

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

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

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

12. Дополнения в корректуре против рукописи не допускаются.

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

14. 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.

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

Заместители главного редактора

В.В. Куликов, Ю.А. Попов

Члены редакционного совета

Председатель *В.А. Косьянов*

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

Члены редколлегии

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

Сдано в набор 16.11.2018.
Бумага офсет. № 1
Уч.-изд л. 12,00.

Подписано в печать 15.12.2018.
Гарнитура Таймс
Тираж 200 экз.

Формат 60×90/8.
Усл. печ. л. 12,00.
Заказ

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

© Оформление «Изв. вузов. Геология и разведка», 2018



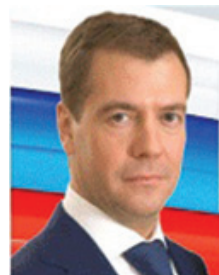
**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ
ПРАВИТЕЛЬСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

« 30 » мая 20 18 г.

№ 3913п-ПЗ7

МОСКВА

Коллективу
Российского государственного
геологоразведочного университета
имени Серго Орджоникидзе



Уважаемые друзья!

Примите мои сердечные поздравления со 100-летним юбилеем.

В 1918 году Московская горная академия впервые открыла свои двери для студентов. С этого времени началась история вашего легендарного Университета, которая создавалась многими выдающимися учеными и педагогами: И.М.Губкиным, В.А.Обручевым, В.И.Вернадским, А.А.Богдановым, В.В.Меннером, Б.И.Воздвиженским.

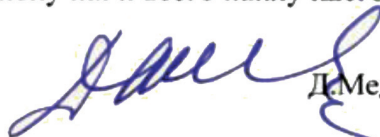
Сегодня Российский государственный геологоразведочный университет – один из ведущих инженерных вузов страны, признанный лидер отечественной геологической и горной науки. Здесь сочетаются традиции и новаторство, многолетняя научная школа и современные образовательные технологии.

Благодаря замечательному профессорско-преподавательскому коллективу Университета студенты получают качественные знания, осваивают уникальные специальности, проводят научные исследования, результаты которых можно апробировать на предприятиях.

Главная гордость МГРИ-РГГРУ – это его выпускники. Среди них ученые с мировым именем, представители государственной власти, известные политические деятели и бизнесмены.

Уверен, что Российский государственный геологоразведочный университет и дальше будет символом образования высокого качества, а его выпускники – специалистами, востребованными в самых разных отраслях экономики.

Желаю вам дальнейших успехов, благополучия и всего наилучшего.


Д.Медведев





**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ
СОВЕТА ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



Профессорско-преподавательскому составу, студентам, аспирантам и сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе

От имени Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации поздравляю со 100-летием образования Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе профессорско-преподавательский состав, студентов, аспирантов, сотрудников, а также специалистов в области геологоразведки, вышедших из стен этого старейшего инженерного вуза.

Университет внес значительный вклад в развитие геологической отрасли и всего минерально-сырьевого комплекса России, формирование промышленного и оборонного потенциала страны.

За годы существования вузом выпущено более 40 тысяч специалистов, многие из которых принимали и принимают активное участие в развитии отечественной науки и промышленности. Квалифицированный преподавательский состав, новейшие методики и программы обучения позволяют готовить востребованные кадры для предприятий высокотехнологичных секторов российской экономики и оборонно-промышленного комплекса. На базе университета проводятся фундаментальные исследования, благодаря которым он известен за рубежом.

Уверена, что и в дальнейшем Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе будет активно способствовать социально-экономическому и научно-технологическому развитию нашего государства.

Желаю всем новых свершений, побед и блестящих открытий.

В.И. МАТВИЕНКО



ГОСУДАРСТВЕННАЯ ДУМА
ФЕДЕРАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СЕДЬМОГО СОЗЫВА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ДУМЫ

ул. Охотный ряд, д. 1, Москва, 103265



**Коллективу
Российского государственного
геологоразведочного университета
имени Серго Орджоникидзе
(МГРИ-РГГРУ)**

(г. Москва, 4 сентября 2018 г.)

Поздравляю преподавателей, студентов и выпускников Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе со знаменательной датой – 100-летием со дня основания.

Университет вносит весомый вклад в развитие геологических и горных наук нашей страны. За вековую историю профессорско-преподавательский состав, объединив лучшие теории и практики, сформировал научную школу. В стенах вуза готовят будущих специалистов, которые будут решать задачи увеличения минерально-сырьевой базы нашей страны, открывая новые месторождения полезных ископаемых.

Университет сегодня – это не только современный учебно-научный комплекс, но и основа, формирующая наукоемкие технологии экономики России.

Желаю коллективу Университета новых достижений и успехов.

В уважении

В.В.Володин

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА
2018, № 6

СОДЕРЖАНИЕ

Колонка главного редактора

Лопатин А.В. К 100-летию МГРИ 8

Геология

Стогний Г.А., Стогний В.В. Модель формирования Бодайбинского прогиба: геолого-геофизический аспект 11

Минералогия, петрография, литология

Петроченков Д.А. Минеральный состав и геммологические характеристики окаменелого дерева Ульяновской области 18

Николова Н.Ю. Вещественный состав и условия формирования нижнепалеозойских песчаников кряжа Енганэ-Пэ (Полярный Урал) 23

Суставов О.А. Динамическая перекристаллизация кварца в жилах среди песчаников зоны метабазита (Куларский район, Якутия) 33

Полезные ископаемые, методика их поисков и разведки

Мальцев М.В., Толстов А.В., Бережнев И.И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) 41

Степанов В.А. Эталонная пара золоторудное месторождение—россыпь как основа прогнозирования новых золоторудных месторождений в Приамурье 49

Гидрогеология и инженерная геология

Лам В.Х.-К., Лисенков А.Б., Лаврушин В.Ю., Белов К.В. Возраст и условия формирования вод среднеплиоценового водоносного горизонта дельты Меконга (Вьетнам) по результатам радиоуглеродного датирования 59

Техника геолого-разведочных работ

Брюховецкий О.С., Иляхин С.В. Целесообразность использования текущих хвостов обогащения в закладочном процессе горных предприятий 66

Лань Тяньвэй, Чжан Хунвэй, Ли Шэн, Батугин А.С., Чжао Вэйго, Ли Цян, Сунь Цзючжэн. Применение и развитие метода геодинамического районирования по прогнозу геодинамической опасности на угольных шахтах Китая . . 71

Геофизические методы поисков и разведки

Бахтерев В.В. Комплексные исследования электрических параметров образцов магнетитовых руд в связи с их генезисом и минеральным составом (на примере Гороблагодатского скарново-магнетитового месторождения) 77

Из истории науки

Новгородова Л.В., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У., Комаров В.Н. Вопросы палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии в трактате Н. Стенона «О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом» 85

Критика и библиография

Комаров В.Н. О «Путеводителе по залам Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН» 91

Хроника

Бадида Л.В. 3-я Всероссийская Школа студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов по литологии «Литология и я: от идеи до выводов» 93

Игорю Соломоновичу Гутману — 85 лет 94

Алфавитный указатель статей, опубликованных в журнале в 2018 г. 95

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION
2018, N 6

CONTENTS

Main editor's column

Lopatin A.V. To the 100th anniversary of MGRI 8

Geology

Stogny G.A., Stogny V.V. The model of the Bodaibo graben formation: geological and geophysical aspects 11

Mineralogy, petrography, lithology

Petrochenkov D.A. Mineral composition and gemological characteristics of the petrified wood of the Ulyanovsk region . 18

Nikulova N.Yu. Material composition and formation conditions of lower Paleozoic sandstones of Engane-Pe Ridge (Polar Urals) 23

Sustavov O.A. Dynamic recrystallization of quartz in veins in sandstones of metagenesis zone (Kular district, Yakutia) 33

Useful minerals, methods of their prospecting and exploration

Maltsev M.V., Tolstov A.V., Berezhnev I.I. Conditions of localization and criteria for kimberlites exploration (on the example of Igyatta diamondiferous region, Western Yakutia) . 41

Stepanov V.A. Reference couple gold deposit — placer as a basis for forecasting of the new gold deposits in Amur river basin . 49

Hydrogeology and engineering geology

Lam Hoang Quoc Viet, Lisenkov A.B., Lavrushin V.J., Belov K.V. Age and forming conditions of groundwater in the middle Pliocene aquifer in the Mekong Delta, Vietnam, based on the results of carbon radioactive isotope study 59

Geological exploration technique

Bryuhoveckij O.S., Ilyahin S.V. Expediency of the using of the current tailings in the stowage process of mining enterprises . 66

Lan Tianwei, Zhang Hongwei, Li Sheng, Batugin A.S., Zhao Weiguo, Li Qiang, Sun Sujun. Application and development of the method of geodynamic zoning for forecasting the geodynamical danger at coal mines of China 71

Geophysical methods of prospecting and exploration

Bakhterev V.V. An integrated study of the electrical parameters of the samples of magnetite ores in relation to their genesis and mineral composition (on the example of the Goroblagodatskoe skarn-magnetite deposit) 77

From the history of science

Novgorodova L.V., Akhunov F.F., Eremenko R.V., Komarov V.N. Issues of paleontology, stratigraphy and historical geology in the treatise of N. Stenon «On the solid, naturally contained in the solid» 85

Critics and bibliography

Komarov V.N. About the «Guide to the halls of the Vernadsky State Geological Museum of RAS» 91

Chronics

Badida L.V. Third Russian Lithology School for the students, post-graduate students, young scientists and specialists: «Lithology and me: from the idea to the conclusions» 93

85th anniversary of Igor' Solomonovich Gutman 94

Alphabetical index of the articles published in the journal in 2018.. . 95

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

К 100-ЛЕТИЮ МГРИ

А.В. ЛОПАТИН

*Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН,
123, Профсоюзная ул., Москва 117647, Россия
e-mail: alop@paleo.ru*

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6--8-10

TO THE 100TH ANNIVERSARY OF MGRI

A.V. LOPATIN

*Borissiak Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences
123, Profsoyuznaya street, Moscow 117647, Russia
mail: alop@paleo.ru*

Уважаемые коллеги!

2018 год — год 100-летия со дня образования Московской горной академии (МГА), созданной Декретом Совета Народных Комиссаров от 4 сентября 1918 г. Геологоразведочный факультет Московской горной академии стал прародителем Московского геолого-разведочного института, формально образованного в 1930 г. при расформировании МГА и возникновении на её базе шести высших технических учебных заведений: МГИ — для угольной отрасли, МИСИС и МИЦМиЗ — для чёрной и цветной металлургии, МТИ и МНИ — для торфяной и нефтяной отраслей, **МГРИ — для геологического производства.**

Сегодня мы отдаём дань должного уважения учёным, создавшим основы современных геологических школ и стоявшим у истоков МГА-МГРИ: И.М. Губкину, В.А. Обручеву, А.П. Павлову, А.Д. Архангельскому, В.И. Лучицкому, А.Н. Мазаровичу, Е.В. Милановскому, Ф.П. Соваренскому, Н.С. Шатскому, М.А. Болховитиновой и многим другим.

Дело великих учителей и организаторов геолого-разведочного дела в МГРИ по различным на-

правлениям наук о Земле продолжили и развили их ученики и ученики учеников:

общая и региональная геология, геотектоника: В.В. Белоусов, М.В. Муратов, В.М. Цейслер, Е.В. Шанцер, В.Н. Павлинов, А.В. Пейве и др.;

стратиграфия и палеонтология: В.В. Меннер, Г.И. Немков, Г.Ф. Мирчинк, Е.А. Успенская, Г.Н. Садовников, В.Н. Комаров и др.;

минералогия и геохимия: П.П. Пилипенко, Н.А. Смольянинов, А.А. Сауков, Д.А. Минеев, Е.Е. Флинт, С.А. Юшко, М.П. Исаенко, Н.И. Гинзбург, Л.К. Пожарицкая и др.;

петрография, петрология: А.Н. Заварицкий, Е.А. Кузнецов, В.С. Коптев-Дворников, И.Ф. Трусова, В.И. Чернов и др.;

литология, седиментогенез: Н.М. Страхов, М.С. Швецов, С.В. Тихомиров, Н.К. Фортунатова и др.;

геология месторождений металлических полезных ископаемых и металлогения: Е.Е. Захаров, В.М. Григорьев, В.Н. Котляр, Г.Н. Пилипенко и др.;

геология месторождений неметаллических полезных ископаемых: Б.Я. Меренков, И.Ф. Романович и др.;

геология месторождений горючих полезных ископаемых: А.А. Гапеев, А.И. Кравцов, В.В. Шершуков, А.П. Бакалдина и др.

геология и разведка редких и радиоактивных элементов: А.А. Якжин, А.Г. Бетехтин, М.Ф. Стрелкин, Ф.П. Кренделев, В.Е. Бойцов и др.;

методика поисков и разведки твердых полезных ископаемых: В.М. Крейтер, А.Б. Каждан, Д.А. Зенков, В.И. Смирнов, В.В. Аристов, Н.Н. Соловьев, А.Н. Роков и др.;

гидрогеология и инженерная геология: Г.М. Каменский, В.А. Приклонский, И.В. Попов, Н.В. Коломенский, Ф.В. Котлов, А.М. Овчинников, Н.А. Плотников, В.М. Швец, Е.М. Пашкин и др.;

геофизические методы поисков и разведки МПИ: Г.А. Гамбурцев, Л.М. Альпин, А.И. Заборовский, Л.В. Сорокин, И.И. Гурвич, В.Ф. Бончковский, В.И. Баранов, А.Г. Тархов, А.А. Никитин, Ю.А. Попов, А.Д. Каринский и др.;

технология и техника разведки МПИ: Н.И. Куличихин, Б.И. Воздвиженский, С.А. Волков, Е.А. Козловский, А.О. Верчеба, В.С. Владиславлев, С.А. Брылов, Н.В. Тихонов, Д.Н. Башкатов, А.Г. Калинин, Б.М. Ребрик, Л.Г. Грабчак, В.В. Алексеев и др.;

разработка месторождений цветных, редких и радиоактивных металлов: Г.Н. Попов, Б.П. Боголюбов, К.Н. Трубецкой, В.А. Симаков, Б.П. Юматов, Ж.В. Бунин и др.;

разработка россыпных месторождений: С.М. Шорохов, С.В. Потемкин, В.Ф. Хныкин, В.В. Сборовский и др.;

геотехнология: Д.И. Щеголев, Д.П. Лобанов, В.П. Небера, Л.И. Лунев, Н.Г. Малухин и др.;

комплексное использование водных ресурсов при недропользовании: О.С. Брюховецкий, А.Е. Смолдырев, А.В. Комаров, М.В. Лурье и др.;

геометризация земной поверхности и её недр: П.К. Соболевский, А.А. Трофимов, В.И. Борщ-Компоницец и др.;

экология: Н.В. Демин, В.Н. Экзарьян, С.Д. Ганова и др.;

экономика: М.И. Агошков, Г.П. Синягин, М.П. Астафьева, Е.Л. Гольдман, В.Т. Борисович и др.

В год своего 40-летия МГРИ стал издателем научно-методического журнала «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка», первый номер которого вышел в свет в январе 1958 г. (учрежден приказом Министерства высшего образования СССР от 31 июля 1957 г.). Главным редактором журнала назначили профессора М.В. Муратова.

С 18 сентября 2014 г. учредителем и издателем журнала «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» является ФГБОУВО «Российский государственный геологоразведоч-

ный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ).

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. На страницах журнала опубликовано более 3,5 тысяч научных статей учёных из МГРИ, МГУ, ВИМС, ГИН, ИГЕМ, ПИН, СПбГУ, СПбГИ и множества других научных институтов, вузов и научно-производственных организаций. Журнал действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствуя повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

С января 2003 г. журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» поступает в Научную электронную библиотеку elibrary.ru, статьи, опубликованные в журнале, находятся в открытом доступе.

Журнал включён в специализированную реферативную базу данных GeoRef (American Geosciences Institute) www.americangeosciences.org и базу Chemical Abstracts (AmericanChemicalSociety).

На текущем этапе руководство МГРИ и редколлегия журнала «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» поставили задачу — повысить научный уровень журнала до международного стандарта, соответствующего требованиям глобального индекса цитирования Scopus. С этой целью создан русско-английский сайт журнала.

В 2018 г. журнал стал доступен читателям в режиме online — <https://geology.mgri-rggru.ru> (текущие номера и архив за 2015—2017 гг.): ISSN 2618-8708 (online).

Всем статьям в журнале начиная с 2017 г. присваиваются DOI.

В 2017 г. утверждён новый состав редколлегии журнала «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка». К работе в редколлегии привлечены учёные с высокими международными научными рейтингами из ведущих научно-исследовательских институтов, вузов и научно-производственных организаций из различных регионов России и зарубежных стран.

Целенаправленная работа редколлегии по более строгому рецензированию и отбору статей, привлечению к публикациям статей, авторы которых имеют высокие рейтинги в различных индексах цитирования, привела к повышению показателей журнала: в рейтинге SCIENCE INDEX (2017 г.) его показатель увеличился до 0,932 (был 0,385), журнал занял в общем рейтинге SCIENCE INDEX

588-е место (было 1348), двухлетний импакт-фактор РИНЦ вырос до 0,509 (был 0,364).

Нам еще предстоит большая работа, но первые положительные результаты уже есть. Для нас важно активно участвовать в большой общей работе по освещению достижений геологической науки и ряда близких дисциплин на благо любимого МГРИ и всей российской геологии.

Дорогие друзья! В год 100-летия МГРИ и 60-летия журнала «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» желаем всем новых научных достижений, которые могут быть достойно

отражены в научных статьях на страницах нашего журнала.

С праздником всех! Доброго здоровья, творческого вдохновения, интересных поисков и находок, свершений и открытий!

***“Не тщишь ты должностью иль званьем,
Иди вперед и в корень зри!***

***Неси же с честью свое знамя
Питомец Альма-матер МГРИ!”***

(М.В. Голицын, 1926—2015, выпускник МГРИ 1951 г., участник Великой Отечественной войны, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова).



ГЕОЛОГИЯ

УДК 553.2 : 550.83 (571.56)

**МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ БОДАЙБИНСКОГО ПРОГИБА:
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Г.А. СТОГНИЙ, В.В. СТОГНИЙ

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»
149, Ставропольская ул., г. Краснодар 350040, Россия
e-mail: stogny_vv@mail.ru*

Проблема формирования Бодайбинского прогиба рассмотрена на основе предложенной тектонической схемы кристаллического фундамента палеопротерозойского Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса, который разделяет фундамент Сибирской платформы на Анабаро-Мирнинский, Непско-Ботуобинский и Алдано-Становой геоблоки. Байкало-Вилуйский гранулит-гнейсовый пояс выражен системой блоков, имеющих общее северо-восточное направление и образующих горсты и грабены. В результате транспрессионного взаимодействия в палеопротерозое Непско-Ботуобинского и Анабаро-Мирнинского геоблоков с Алдано-Становым геоблоком фронтальная часть первых геоблоков испытала поднятие с формированием Сарма-Тонодской зоны выходов метаморфических пород и одновременное погружение краевой части Алдано-Станового геоблока с образованием Олокитского и Бодайбинского грабенов. Олокитский грабен заполнялся обломочным материалом с Непско-Ботуобинского и Анабаро-Мирнинского геоблоков, а Бодайбинский грабен — главным образом продуктами разрушения раннедокембрийских метаморфических пород Алдано-Станового щита, в том числе и золотосодержащих метабазитовых комплексов.

Ключевые слова: Байкало-Патомский складчатый пояс; Алдано-Становой щит; Бодайбинский прогиб; глубинное строение; кристаллический фундамент; разлом; гравитационное поле; золоторудное месторождение.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-11-17

**THE MODEL OF THE BODAIBO GRABEN FORMATION:
GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL ASPECTS**

G.A. STOGNY, V.V. STOGNY

*Kuban State University
149, Stavropolskaya st., Krasnodar 350040, Russia
e-mail: stogny_vv@mail.ru*

The problem of the Bodaibo graben formation has been considered within the framework of the proposed tectonic scheme of the Baikal-Patom fold belt crystalline basement — the Paleoproterozoic Baikal-Viluisik granulite-gneiss belt, which divides the foundation of the Siberian platform into Anabar-Mirninsky, Nepsko-Botuobinsky and Aldan-Stanovoi geoblocks. The Baikal-Viluisik granulite-gneiss belt is expressed by a system of blocks having a common northeastern direction and forming uplifts and grabens. As a result of the transpression interaction of the Nepsko-Botuobinsky and Anabar-Myrninsky geoblocks with Aldan-Stanovoi one in the Paleoproterozoic, the frontal part of the former was elevated with the formation of metamorphic rocks of Sarma-Tonod zone of outcrops and with the simultaneous descending of the Aldan-Stanovoi geoblock marginal part and the formation of the Olokit and Bodaibo grabens. The Olokit graben was filled with the detrital material from the Nepsko-Botuobinsky and Anabar-Mirninsky geoblocks, and the Bodaibo graben — mainly by the products of the metamorphic rocks destruction of the Aldano-Stanovoy shield, including the gold-bearing metabasite complexes.

Keywords: Baikal-Patom fold belt; Aldan-Stanovoi shield; Bodaibo graben; deep structure; crystalline basement; fault; gravity field; gold-ore deposit.

Проблема формирования Бодайбинского прогиба Байкало-Патомского складчатого пояса актуальна в связи с тем, что в его пределах известны месторождения золота и в их числе уникальное месторождение золота Сухой Лог. В рамках данной проблемы можно выделить два основополагающих вопроса: условия осадконакопления Бодайбинского прогиба и источник золота месторождений. Вопрос условий осадконакопления неразрывно связан с принятой моделью формирования Бодайбинского прогиба, которая с первых тектонических построений [18, 24] менялась в зависимости от приоритетной парадигмы [23]. Л.М. Парфёнов с соавторами [13] полагают, что в случае распада суперконтинента Родиния в конце докембрия ниже—среднерифейские отложения накапливались в узких зонах либо авлакогенах, а более молодые осадки — в условиях пассивной окраины кратона. Геодинамическая модель, согласно которой осадконакопление Бодайбинского прогиба происходило в условиях склона и задугового морского бассейна в результате разрушения островной дуги и вулканической деятельности, предложена авторами работы [23]. Формирование Байкало-Патомского складчатого пояса В.Л. Вуд и Н.П. Попов [3] рассмотрели исходя из наличия в его основании палеопротерозойского Ачитканского складчатого пояса. Глубинное строение верхней части земной коры Байкало-Патомского складчатого пояса рассмотрено в [2, 4, 5, 7], однако практически нет работ анализирующих роль структур кристаллического фундамента в формировании Бодайбинского прогиба и месторождения золота Сухой Лог. К данной проблеме авторы подошли исходя из разработанной схемы тектонического строения консолидированной земной коры Байкало-Патомского складчатого пояса по результатам анализа геолого-геофизических материалов и главным образом структуры гравитационного поля.

Анализ гравитационного поля Бодайбинского прогиба

Анализ структуры среднечастотной составляющей гравитационного поля Байкало-Патомского складчатого пояса дан в [20]. Бодайбинскому прогибу в плане соответствует восточная часть Бодайбо-Мамского гравитационного максимума Байкало-Вилуйской аномальной зоны (рис. 1).

Районирование высокочастотной составляющей гравитационного поля Бодайбинского прогиба проведено в контурах площади, включающей восточную часть Бодайбо-Мамского максимума, южный сегмент Уринского максимума и западную часть Мурунского гравитационного минимума (рис. 1). Бодайбо-Мамский гравитационный максимум в пределах изучаемой площади Джегдаргской аномальной зоной, включающей Джегдаргский, Верх-

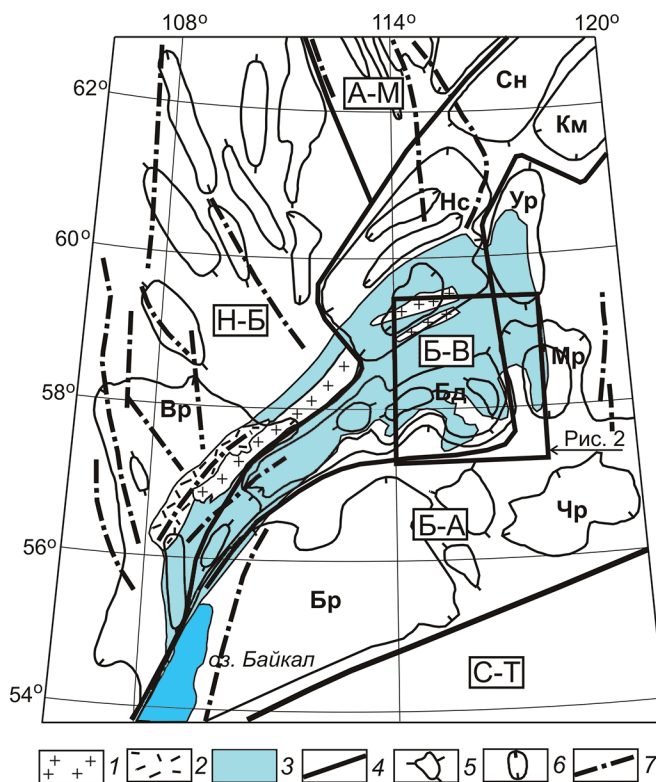


Рис. 1. Схема районирования гравитационного поля Байкало-Патомского складчатого пояса: 1 — выходы раннедокембрийских метаморфических пород Сарма-Тонодской зоны; 2 — Ачитканский вулканический пояс; 3 — неопротерозойские отложения Байкало-Патомского складчатого пояса; 4 — границы аномальных гравитационных областей (А-М — Анабаро-Мирнинская, Б-А — Байкало-Алданская, Н-П — Непско-Ботуобинская, С-Т — Селенга-Тунгирская) и Байкало-Вилуйской (Б-В) аномальной зоны; 5 — гравитационные максимумы: Бд — Бодайбо-Мамский, Сн — Сунтарский, Ур — Уринский; 6 — гравитационные минимумы: Км — Кемпендэйский, Нс — Нюйский, Мр — Мурунский, Бр — Баргузинский, Чр — Чарский, Вр — Верхнемартыновский; 7 — оси региональных линейных максимумов аномального магнитного поля. Квадрат — контур рис. 2

нежуинский и Правобережный локальные гравитационные минимумы, разделён на Артёмовский, Светлый и Южный фрагменты (рис. 2). Артёмовский гравитационный максимум амплитудой до 22 мГал осложнён рядом мелких аномалий. Гравитационный максимум Светлый включает Кропоткинский и Радужный локальные максимумы амплитудой до 4 мГал. К северной ступени Бодайбо-Мамского гравитационного максимума приурочен Угаханский локальный гравитационный минимум амплитудой до 4 мГал.

Бодайбо-Мамский гравитационный максимум объясняют наличием в структуре Бодайбинского прогиба глубинных магматических тел [7], рифейских океанических террейнов [1] или более высокоплотными слоями литосферы на глубинах 10—30 и 40—70 км [14].

Джегдаргскому и Верхнежуинскому гравитационным минимумам отвечают выходы палеозойских гранитов (рис. 2). На природу аномалиеобразующего объекта Угаханского локального гравитационного минимума можно отметить две точки зре-

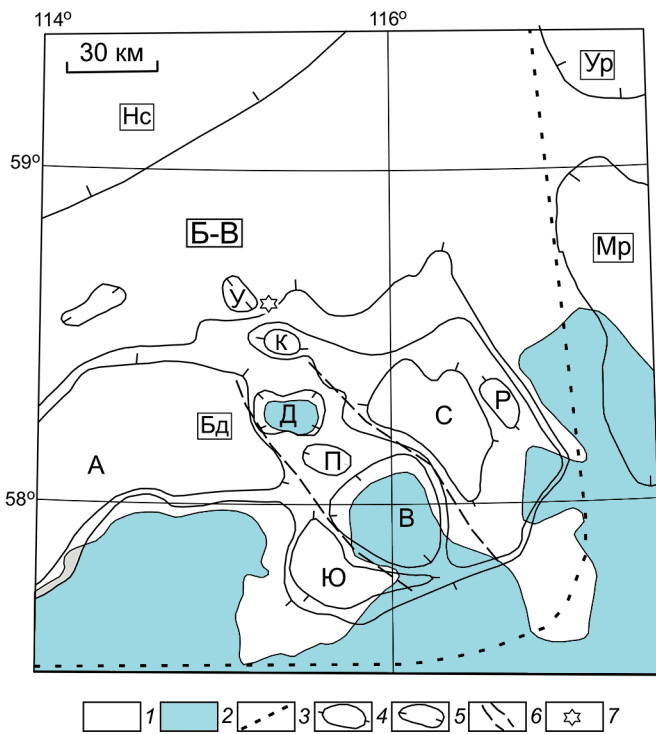


Рис. 2. Схема районирования гравитационного поля Бодайбинского прогиба: 1 – неопротерозойские осадочные отложения Байкало-Патомского складчатого пояса; 2 – раннедокембрийские метаморфические породы и палеозойские гранитоиды; 3 – граница Байкало-Вилуйской (Б-В) аномальной гравитационной зоны; 4 – гравитационные максимумы: региональные (Бд – Бодайбо-Мамский, Ур – Уринский), локальные (А – Артёмовский, С – Светлый, К – Кропоткинский, Ю – Южный, Р – Радужный); 5 – гравитационные минимумы: региональные (Мр – Мурунский), локальные (У – Угаханский, Д – Джегдагарский, В – Верхнежуинский; П – Правобережный); 6 – Джегдагарская аномальная зона локальных гравитационных минимумов; 7 – месторождение золота Сухой Лог

ния: близповерхностный массив гранитоидов, апикальной частью которого является Константиновский шток, сложенный адамелитами с плотностью $2,67 \text{ г/см}^3$ [8, 9], либо нескрытый глубинный массив гранитов, верхняя кромка которого расположена на глубинах 3,0–3,2 км, а нижняя — на глубинах 8,0–8,5 км [6, 7]. Константиновский шток в плане приурочен к юго-западному контуру Угаханского гравитационного минимума и, вероятно, является выходом гранодиоритовой оторочки Угаханского массива гранитов. Кропоткинский локальный максимум отождествляют с гипербазит-базитовым массивом, расположенным на глубинах 5–8 км [7, 12]. В нашей интерпретации Кропоткинский и Радужный локальные максимумы обусловлены высокоплотными складчатыми структурами Бодайбинского прогиба.

Предложенная схема районирования гравитационного поля Бодайбинского прогиба принята в качестве базовой при разработке схемы строения его кристаллического фундамента.

Строение консолидированной земной коры Бодайбинского прогиба

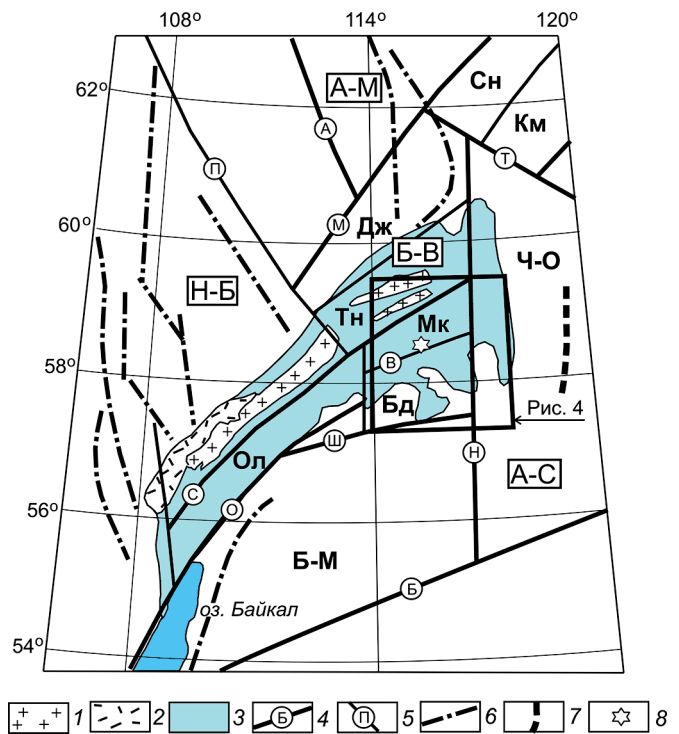
Глубинное строение верхней части земной коры Байкало-Патомского складчатого пояса рассмотрено в [4, 5, 12, 14–16]. По Р.А. Гафарову с соавторами [4], кристаллический фундамент Байкало-Патомского складчатого пояса разделён Байкало-Вилуйским тектоническим швом на два сегмента, принадлежащих Анабаро-Байкальской и Бодайбинской плитам. О.М. Розен с соавторами [16] в основании Байкало-Патомского складчатого пояса пред-

полагают протягивающийся от оз. Байкал до Верхояно-Колымской складчатой области палеопротерозойский Аkitканский орогенный пояс, представляющий собой островную дугу, сшивающую территории юго-востока и северо-востока Сибирской платформы.

Схема структуры кристаллического фундамента Байкало-Патомского складчатого пояса, разработанная на основе карты среднечастотной составляющей гравитационного поля с позиции блоковой делимости земной коры, представлена на рис. 3. Кристаллическим фундаментом Байкало-Патомского складчатого пояса являются структуры палеопротерозойского Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса, который разделяет фундамент Сибирской платформы на Анабаро-Мирнинский, Непско-Ботубинский и Алдано-Становой геоблоки. Контуры Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса вынесены по зоне линейных гравитационных максимумов и минимумов одноимённой аномальной зоны гравитационного поля (рис. 1). О времени формирования пояса можно судить по имеющимся датировкам вскрытых Мухтинской скважиной метаморфических и магматических пород — 1184–2522 млн. лет [21].

Последующая рифейская и среднепалеозойская тектоническая активизация в зоне Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса, по-видимому, происходила фрагментарно, в разное время для западной Байкало-Патомской и восточной Вилуйской частей, границей между которыми является Туолбинский разлом (рис. 3). Байкало-Патомский фрагмент Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса включает Олокитский, Бодайбинский,

Рис. 3. Схема тектонического строения кристаллического фундамента Байкало-Патомского складчатого пояса: 1 – выходы раннедокембрийских метаморфических пород Сарма-Тоновской зоны; 2 – Аkitканский вулканический пояс; 3 – неопротерозойские отложения Байкало-Патомского складчатого пояса; 4 – межгеоблокные разломы: А – Анабаро-Непский, Б – Байкало-Алданский, О – Олоkitский, Н – Нечерский, С – Сарма-Тоновский, М – Мирнинский, Ш – Широитный, Т – Туолбинский; 5 – внутриблочные разломы: П – Пеледуйский, В – Вачинский; 6 – зоны регрессивного метаморфизма пород кристаллического фундамента, выделенные в контурах региональных линейных максимумов аномального магнитного поля; 7 – Чара-Токкинский архейский зеленокаменный пояс Алдано-Станового щита; 8 – месторождение золота Сухой Лог. Буквами обозначены блоки кристаллического фундамента разного порядка: геоблоки (А-С – Алдано-Становой, А-М – Анабаро-Мирнинский, Н-Б – Непско-Ботуобинский); блоки первого порядка Алдано-Станового геоблока (Б-М – Баргузино-Муйский, Ч-О – Чаро-Олёкминский); блоки Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса (Ол – Олоkitский, Бд – Бодайбинский, Тн – Тоновский, Дж – Джербинский, Мк – Мараканский, Сн – Сунтарский, Км – Кемпендяйский). Квадрат – контур рис. 4



Мараканский, Тоновский и Джербинский блоки, имеющие общее северо-восточное простирание (рис. 3). Раннедокембрийские метаморфические породы Сунтарского блока вскрыты Сунтарской опорной скважиной под нижнеюрскими отложениями на глубине 368 м, а мощность платформенных отложений, перекрывающих Кемпендяйский блок, оценивается в 14 км [22].

Для Чаро-Олёкминского блока Алдано-Станового геоблока характерны субдолготные раннеархейские зеленокаменные пояса [21]. Имеющий аналогичное простирание Нечерский разлом, по-видимому, отражает архейский этап становления структуры фундамента. Нечерский разлом является пограничным для Сарма-Тоновского, Широитного и Вачинского разломов, которым подчинены Олоkitский, Бодайбинский и Тоновский блоки кристаллического фундамента Байкало-Патомского складчатого пояса (рис. 3). Бодайбинский блок по Нечерскому разлому граничит с Чаро-Олёкминским блоком, с севера ограничен Вачинским разломом, а с юга – Широитным (рис. 3). Бодайбинский прогиб практически полностью соответствует контурам одноимённого блока Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса. В рамках предложенной схемы Вачинский, Широитный и Нечерский разломы контролируют склоны наиболее погруженной части Бодайбинского прогиба.

По данным МТЗ в геоэлектрическом разрезе верхней части земной коры выделены два основных слоя: верхний (0–15 км) относительно низкоомный и нижерасположенный высокоомный, кровля которого в пределах Бодайбинского прогиба на-

ходится на глубине около 5,5 км при её средней глубине 10 км [15]. Наиболее неопределённым параметром при разработке модели глубинного строения верхней части земной коры Бодайбинского прогиба является мощность его осадочного выполнения. Так, по данным [7], суммарная мощность рифейских отложений района месторождения Сухой Лог оценивается в 18 км (средне-верхнерифейский сланцево-карбонатный комплекс имеет мощность 7–9 км, а мощность нижнерифейского рифтогенного комплекса равна 7–12 км).

Схема строения фундамента Бодайбинского прогиба, разработанная по результатам анализа локальной составляющей гравитационного поля, представлена на рис. 4. Бодайбинский блок разделён на две части Джегдагарской зоной тектонических нарушений, включающей Джегдагарский, Правобережный и Верхнежуинский массивы палеозойских гранитов. К северному окончанию Джегдагарской зоны тектонических нарушений приурочен Угаханский массив гранитов, расположенный в Мараканском блоке.

Расчёт глубины верхних и нижних кромок Угаханского, Джегдагарского, Правобережного и Верхнежуинского массивов гранитов проведён по линии АБ (рис. 4). Расчёт проводился по программе Potent, при этом были приняты следующие параметры структурно-вещественных комплексов: мощность неопротерозойской осадочной толщи Бодайбинского прогиба не превышает 7–10 км [5], плотность отдельных блоков кристаллического фундамента, с учётом имеющихся данных для метаморфических комплексов Чаро-Олёкминского бло-

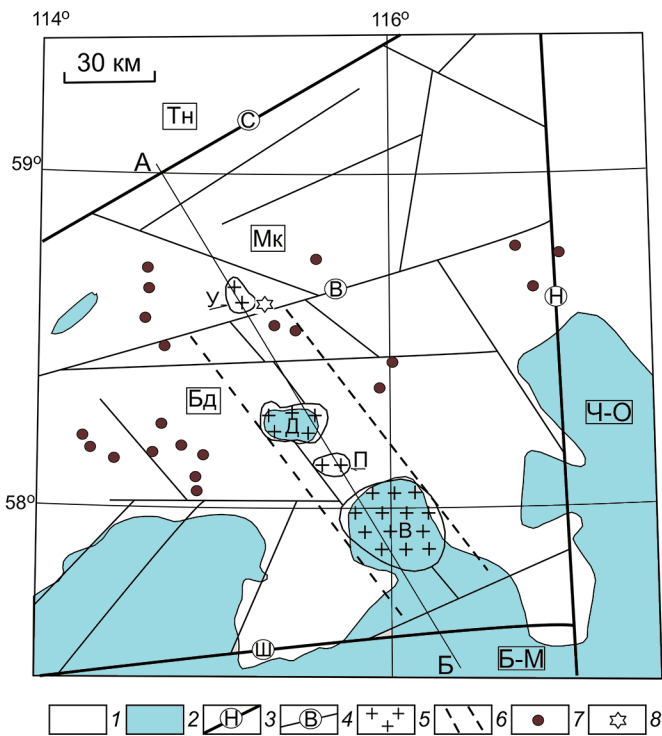


Рис. 4. Структура кристаллического фундамента Бодайбинского прогиба по результатам анализа геолого-геофизических материалов: 1 – неопротерозойские осадочные отложения Байкало-Патомского складчатого пояса; 2 – раннедокембрийские метаморфические породы и палеозойские гранитоиды; 3 – разломы, разграничивающие блоки первого порядка: С – Сарма-Тонодский, Н – Нечерский, Ш – Широкий; 4 – разломы, разграничивающие блоки второго порядка: В – Вачинский; 5 – нескрытые массивы гранитов и границы известных массивов: Д – Джегдагарский, В – Верхнежуинский, П – Правобережный, Угаханский (У); 6 – Джегдагарская зона тектонических нарушений; 7 – месторождения и рудопроявления золота; 8 – месторождение золота Сухой Лог. АБ – линия геолого-геофизического разреза. Буквами обозначены блоки кристаллического фундамента: Б-М – Баргузино-Муйский, Ч-О – Чаро-Олекминский, Бд – Бодайбинский, Мк – Мараканский, Тн – Тонодский

ка, изменяется в интервале 2,67–2,75 г/см³ [19]. При заданной мощности осадочной толщи Бодайбинского прогиба в 10 км и плотности 2,70 г/см³ расчётная плотность кристаллического фундамента Бодайбинского блока равна 2,75 г/см³, что соответствует плотности курультинского гранулитового комплекса Чаро-Олекминского блока.

Закартированные выходы Джегдагарского и Верхнежуинского массивов практически совпадают с геофизическими контурами (рис. 4), расчётная глубина их подошвы соответствует 5 и 4 км. Невскрытые Угаханский и Правобережный массивы гранитов, отражающиеся в поле силы тяжести минимумами амплитудой до 4 мГал и размером 20×30 км, являются близповерхностными, глубина их подошвы не превышает 3 км. Согласно [17], исходные расплавы гранитоидов формировались из коровых источников палеопротерозойского и неоархейского возраста, поэтому не исключено, что Джегдагарская зона гранитоидов унаследована от выступа кристаллического фундамента, разделившего Бодайбинский прогиб на две впадины. Западная впадина, которой соответствует Артёмовский гравитационный максимум амплитудой до 22 мГал, более глубокая, чем восточная, отражающаяся гравитационным максимумом Светлый амплитудой до 10 мГал (рис. 2).

Модель формирования Бодайбинского прогиба

Согласно предложенной схеме тектонического строения кристаллического фундамента (рис. 3), осадочные толщи Байкало-Патомского складчатого пояса перекрывают структуры палеопротерозой-

ского Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса, который разделяет фундамент Сибирской платформы на Анабаро-Мирнинский, Непско-Ботубинский и Алдано-Становой геоблоки. Байкало-Вилуйский гранулит-гнейсовый пояс в структуре фундамента выражен системой блоков третьего порядка, имеющих общее северо-восточное простирание и формирующих горсты (типа Сунтарского) и грабены (типа Кемпендяйского).

Северо-восточное простирание структур Байкало-Вилуйского гранулит-гнейсового пояса ортогонально по отношению к разломам Непско-Ботубинского и Анабаро-Мирнинского геоблоков, а упором для Бодайбинского, Мараканского, Тонодского и Джербинского блоков является Нечерский разлом (рис. 3), что позволяет предположить геодинамическую модель формирования Бодайбинского прогиба в режиме транспрессии в области взаимодействия Непско-Ботубинского, Анабаро-Мирнинского и Алдано-Станового геоблоков. В результате данного процесса была приподнята фронтальная часть Непско-Ботубинского и Анабаро-Мирнинского геоблоков с формированием Сарма-Тонодской зоны выходов метаморфических пород с одновременным погружением западного фланга Алдано-Станового геоблока и формированием Олокитского, Бодайбинского и Мараканского грабенов, выполненных в последующем осадочно-вулканогенной толщей рифея и венда.

В рамках предложенной модели формирования Бодайбинского прогиба предполагается, что снос обломочного материала в Олокитский рифт происходил с Непско-Ботубинского и Анабаро-Мир-

нинского геоблоков. Бодайбинский грабен заполнялся главным образом продуктами разрушения раннедокембрийских метаморфических пород Алдано-Станового щита, в том числе и золотосодержащих метабазитовых комплексов. Золото распределялось по всему разрезу. Согласно [10], отложения верхнего рифея и венда мощностью около 7 км содержат золотое оруденение. Предложенная модель формирования осадочного выполнения Бодайбинского прогиба не противоречит данным [16], что источником формирования позднерифейских осадочных пород Байкало-Патомского складчатого пояса являлась главным образом континентальная кора с архейскими и палеопротерозойскими модельными возрастными.

Часть месторождений и рудопроявлений золота приурочена к тектоническим нарушениям, но большинство золоторудных объектов не имеет такой связи, что можно объяснить первичным неравномерным распределением золотосодержащего субстрата. Отсутствие месторождений золота в экзоконтактных зонах Дзеддагарского, Правобережного и Верхнежуинского массивов гранитов исключает рудоконтролирующую роль Угаханского массива в формировании месторождения Сухой Лог. Месторождение золота Сухой Лог (рис. 3, 4) приурочено к зоне влияния Вачинского разлома, который ограничивает северный склон Бодайбинского грабена. По-видимому, циркулировавшие в зоне Вачинского разлома гидротермальные растворы обогащались золотом осадочного комплекса Бодайбинского прогиба.

Заключение

Проблема формирования Бодайбинского прогиба рассмотрена в рамках предложенной модели становления в палеопротерозое кристаллического фундамента Байкало-Патомского складчатого пояса. Показано, что осадочные толщи Байкало-Патомского складчатого пояса перекрывают структуры палеопротерозойского Байкало-Вилойского гранулит-гнейсового пояса, который разделяет фундамент Сибирской платформы на Анабаро-Мирнинский, Непско-Ботуобинский и Алдано-Становой геоблоки. Байкало-Вилойский гранулит-гнейсовый пояс выражен системой блоков, имеющих общее северо-восточное простирание и образующих горсты и грабены.

В результате транспрессионного взаимодействия в палеопротерозое Непско-Ботуобинского и Анабаро-Мирнинского геоблоков с Алдано-Становым геоблоком фронтальная часть первых геоблоков испытала поднятие с формированием Сарма-Тонодской зоны выходов метаморфических пород и одновременное погружение краевой части Алдано-Станового геоблока с образованием Олоkitского и Бодайбинского грабенов. Олоkitский грабен заполнялся обломочным материалом с Непско-Ботуобинского и Анабаро-Мирнинского геоблоков, а Бодайбинский грабен — главным образом продуктами разрушения раннедокембрийских метаморфических пород Алдано-Станового щита, в том числе и золотосодержащих метабазитовых комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булгатов А.Н., Гордиенко И.В. Террейны Байкальской горной области и размещение в их пределах месторождений золота // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 230–240.
2. Буш В.А. Строение кристаллического фундамента района сочленения северного окончания Байкало-Патомского складчатого пояса с Сибирским кратоном // Геотектоника. 2011. № 6. С. 58–71.
3. Вуд В.Л., Попов Н.П. Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 3. С. 315–341.
4. Гафаров Р.А., Лейтес А.М., Федоровский В.С., Прозоров Ю.И., Савинская М.С., Савинский К.А. Тектоническое районирование фундамента Сибирской платформы и этапы становления его континентальной коры // Геотектоника. 1978. №1. С. 43–57.
5. Геология и сейсмичность зоны БАМ: Глубинное строение / Отв. ред. Н.Н. Пузырёв, М.М. Мандельбаум. Новосибирск: Наука, 1984. 174 с.
6. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Докл. РАН. 2000. Т. 371. № 1. С. 88–92.
7. Лишневский Э.Н., Дистлер В.В. Глубинное строение земной коры района золото-платинового месторождения Сухой Лог по геолого-геофизическим данным (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 1. С. 88–104.
8. Макароичкина З.П. Особенности физических полей над верхнепротерозойскими и постпротерозойскими интрузиями Витимо-Патомского района // Эндогенные полезные ископаемые Саяно-Байкальской горной области. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1974. С. 40–45.
9. Малых В.С., Александров А.Л., Макароичкина З.П. Малые рудоносные интрузии биотитовых гранитов послегорносклиналиного развития Байкальской складчатой области и критерии их выделения // Эндогенные полезные ископаемые Саяно-Байкальской горной области. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1974. С. 17–31.
10. Мигачев И.Ф., Карпенко И.А., Иванов А.И., Черемисин А.А., Куликов Д.А. Золоторудное месторождение Сухой Лог — переоценка и оценка прогноза рудного поля и района // Отечественная геология. 2008. № 2. С. 55–67.
11. Немеров В.К., Станевич А.М. Эволюция рифей-вендских обстановок биолитогеоза Байкальской горной области // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 3. С. 456–470.
12. Орсов Д.А., Булгатов А.Н., Гордиенко И.В. О природе платиновой минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) // Отечественная геология. 2013. № 3. С. 85–90.
13. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
14. Петрищевский А.М. Гравитационный метод оценки геологических свойств земной коры и верхней мантии (в конвергентных и плумовых структурах Северо-Восточной Азии). М.: Наука, 2013. 192 с.
15. Поспеев А.В. Геоэлектрический разрез // Геология зоны БАМ. Л., Недра, 1988. Т. 1. С. 387–392.
16. Розен О.М., Манаков А.В., Зинчук Н.Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. М.: Научный мир, 2006. 212 с.
17. Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Богомолов Е.С., Котов А.Б. Изотопная структура и эволюция континентальной коры Восточно-Забайкаль-

- ского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геотектоника. 2011. № 5. С. 17–51.
18. Салоп Л.И. Геология Байкальской горной области. Т. 1. М.: Недра, 1964. 515 с.
 19. Стогний Г.А., Стогний В.В. Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. Якутск: Сахалинграфиздат, 2005. 174 с.
 20. Стогний Г.А., Стогний В.В. Структура кристаллического фундамента Байкало-Патомского складчатого пояса и роль региональных глубинных разломов в формировании золоторудного месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь) // Геофизика. 2016. № 3. С. 73–77.
 21. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2001. 571 с.
 22. Тектоническое строение Якутской АССР / К.Б. Мокшанцев, Д.К. Горнштейн, Г.С. Гусев. М.: Наука, 1964. 290 с.
 23. Хоментовский В.В., Постников А.А. Неoproterozoysкая история развития Байкало-Вилуйской ветви Палеоазиатского океана // Геотектоника. 2001. № 3. С. 3–21.
 24. Шатский Н.С. Об отношении кембрия к протерозою и о байкальской складчатости // Избранные труды. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 621 с.
- ### REFERENCES
1. Bulgatov A.N., Gordienko I.V. Terreyny Baykal'skoy gornoy oblasti i razmeshcheniye v ikh predelakh mestorozhdeniy zolota [Terrains of the Baikalsk mountain region and the placement of gold deposits within them]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* — [Geology of Ore Deposits], 1999, vol. 41, no. 3, pp. 230–240. (In Russian).
 2. Bush V.A. Stroyeniye kristallicheskogo fundamenta rayona sochleneniya severnogo okonchaniya Baykalo-Patomskogo skladchatogo poyasa s Sibirskim kratonom [The structure of the crystalline basement of the articulation region of the northern end of the Baikalsk-Patom fold belt with the Siberian craton]. *Geotektonika* — [Geotectonics], 2011, no. 6, pp. 58–71. (In Russian).
 3. Wood V.L., Popov N.P. Gigantskoye mestorozhdeniye zolota Sukhoy Log (Sibir') [Sukhoi Log (Siberia) giant gold deposit]. *Geologiya i geofizika* — [Geology and Geophysics], 2006, vol. 47, no. 3, pp. 315–341. (In Russian).
 4. Gafarov R.A., Leites A.M., Fedorovsky V.S., Prozorov Yu.I., Savinskaya M.S., Savinsky K.A. Tektonicheskoye rayonirovaniye fundamenta Sibirskoy platformy i etapy stanovleniya yego kontinental'noy kory [Tectonic zoning of the basement of the Siberian platform and the stages of formation of its continental crust]. *Geotektonika* — [Geotectonics], 1978, no. 1, pp. 43–57. (In Russian).
 5. *Geologiya i seysmichnost' zony BAM: Glubinnoye stroyeniye [Geology and seismicity of the BAM zone: Deep structure]*. Editors-in-chief: N.N. Puzryev, M.M. Mandelbaum, Novosibirsk, Nauka Publ., 1984, 174 p. (In Russian).
 6. Laverov N.P., Prokofiev V.Yu., Distler V.V. Novyye dannyye ob usloviyakh rudootlozheniya i sostave rudoobrazuyushchikh flyuidov zoloto-platinovogo mestorozhdeniya Sukhoy Log [New data on the conditions of ore deposition and composition of the ore-forming fluids of the Sukhoi Log gold-platinum deposit]. *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk* — [Reports of the Russian Academy of Sciences], 2000, vol. 371, no. 1, pp. 88–92. (In Russian).
 7. Lishnevsky E.N., Distler V.V. Glubinnoye stroyeniye zemnoy kory rayona zoloto-platinovogo mestorozhdeniya Sukhoy Log po geologo-geofizicheskim dannym (Vostochnaya Sibir', Rossiya) [The deep structure of the Earth's crust in the Sukhoi Log gold-platinum deposit region according to geological and geophysical data (Eastern Siberia, Russia)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* — [Geology of Ore Deposits], 2004, vol. 46, no. 1, pp. 88–104. (In Russian).
 8. Makarochkina Z.P. Osobennosti fizicheskikh poley nad verkhneproterozoyskimi i postproterozoyskimi intruziyami Vitimo-Patomskogo rayona [Features of physical fields over the Upper Proterozoic and Post-Proterozoic intrusions of the Vitimo-Patomsky region]. *Endogennyye poleznyye iskopayemyye Sayano-Baykal'skoy gornoy oblasti* — [Endogenous minerals of the Sayano-Baikalsk mountain region], Irkutsk, Vost.-Sib. kn. izd-vo [Irkutsk, East-Sib. book. publishing house], 1974, pp. 40–45. (In Russian).
 9. Malykh V.S., Aleksandrov A.L., Makarochkina Z.P. Malyye rudonosnyye intruzii biotitovykh granitov poslegeosinklinal'nogo razvitiya Baykal'skoy skladchatoy oblasti i kriterii ikh vydeleniya [Small ore-bearing intrusions of biotite granites after the neosynclinal development of the Baikalsk folded region and the criteria for their isolation]. *Endogennyye poleznyye iskopayemyye Sayano-Baykal'skoy gornoy oblasti* — [Endogenous minerals of the Sayano-Baikalsk mountain region], Irkutsk, Vost.-Sib. kn. izd-vo [Irkutsk, East-Sib. book. publishing house], 1974, pp. 17–31. (In Russian).
 10. Migachev I.F., Karpenko I.A., Ivanov A.I., Cheremisin A.A., Kulikov D.A. Zolotorudnoye mestorozhdeniye Sukhoy Log — pereotsenka i otsenka prognoza rudnogo polya i rayona [Sukhoi Log gold deposit - reassessment and evaluation of the ore field and district forecast]. *Otechestvennaya geologiya* — [Domestic Geology], 2008, no. 2, pp. 55–67. (In Russian).
 11. Nemerov V.K., Stanevich A.M. Evolyutsiya rifey-vendskikh obstanovok biolitogeneza Baykal'skoy gornoy oblasti [The evolution of the Riphean — Vendian settings of the biolithogenesis of the Baikalsk mountain region]. *Geologiya i geofizika* — [Geology and Geophysics], 2001, vol. 42, no. 3, pp. 456–470. (In Russian).
 12. Orsoev D.A., Bulgatov A.N., Gordienko I.V. O prirode platinovoy mineralizatsii mestorozhdeniya Sukhoy Log (Vostochnaya Sibir', Rossiya) [On the nature of the platinum mineralization of the Sukhoi Log deposit (Eastern Siberia, Russia)]. *Otechestvennaya geologiya* — [Domestic Geology], 2013, no. 3, pp. 85–90. (In Russian).
 13. Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I. Model' formirovaniya orogennykh poyasov Tsentral'noy i Severo-Vostochnoy Azii [Model of the formation of orogenic belts of Central and Northeast Asia]. *Tikhookeanskaya geologiya* — [Pacific Geology], 2003, vol. 22, no. 6, pp. 7–41. (In Russian).
 14. Petrishchevsky A.M. *Gravitatsionnyy metod otsenki reologicheskikh svoystv zemnoy kory i verkhney mantii (v konvergentskiykh i plyumovykh strukturakh Severo-Vostochnoy Azii)* — [Gravitational method of assessing the rheological properties of the earth's crust and upper mantle (in the convergent and plume structures of Northeast Asia)], M., Nauka Publ., 2013, 192 p. (In Russian).
 15. Pospeev A.V. Geoelektricheskiy razrez [Geoelectric section]. *Geologiya zony BAM* — [Geology of the BAM zone], L., Nedra Publ., 1988, vol. 1, pp. 387–392. (In Russian).
 16. Rosen OM, Manakov AV, Zinchuk N.N. *Sibirskiy kraton: formirovaniye, amazonosnost' [Siberian craton: formation, diamond content]*, M., Nauchnyy mir Publ., 2006, 212 p. (In Russian).
 17. Rytsk E.Yu., Kovach V.P., Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Bogomolov E.S., Kotov A.B. Izotopnaya struktura i evolyutsiya kontinental'noy kory Vostochno-Zabaykal'skogo segmenta Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa [The isotopic structure and evolution of the continental crust of the East-Transbaikalian segment of the Central Asian fold belt]. *Geotektonika* — [Geotectonics], 2011, no. 5, pp. 17–51. (In Russian).
 18. Salop L.I. *Geologiya Baykal'skoy gornoy oblasti [Geology of the Baikalsk mountain region]*. Vol. 1. M., Nedra Publ., 1964, 515 p. (In Russian).
 19. Stogny G.A., Stogny V.V. *Geofizicheskiye polya vostochnoy chasti Severo-Aziatskogo kratona [Geophysical fields of the eastern part of the North Asian craton]*, Yakutsk, Sakhapolografizdat Publ., 2005, 174 p. (In Russian).
 20. Stogny G.A., Stogny V.V. Struktura kristallicheskogo fundamenta Baykalo-Patomskogo skladchatogo poyasa i rol' regional'nykh glubinnnykh razlomov v formirovaniy zolotorudnogo mestorozhdeniya Sukhoy Log (Vostochnaya Sibir') [The structure of the crystalline basement of the Baikalsk-Patom fold belt and the role of regional deep faults in the formation of the Sukhoi Log gold deposit (Eastern Siberia)]. *Geofizika* — [Geophysics]. 2016, no. 3, pp. 73–77. (In Russian).
 21. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)]. M., MAIK Nauka/Interperiodika Publ., 2001, 571 p. (In Russian).
 22. *Tektonicheskoye stroyeniye Yakutskoy ASSR [Tectonic structure of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic]*. Ed: K.Б. Мокшанцев, Д.К. Горнштейн, Г.С. Гусев. М., Nauka Publ., 1964. 290 p. (In Russian).
 23. Khomentovskiy V.V., Postnikov A.A. Neoproterozoyskaya istoriya razvitiya Baykalo-Vilyuyskoy vetvi Paleoaziatskogo okeana [Neoproterozoic history of the development of the Baikalsk-Vilyui branch of the Paleo-Asian Ocean]. *Geotektonika* — [Geotectonics], 2001, no. 3, pp. 3–21. (In Russian).
 24. Shatskiy N.S. Ob otnosheniiy kemabriya k proterozooyu i o baykal'skoy skladchatosti [On the attitude of the Cambrian to the Proterozoic and the Baikalsk folding]. *Izbrannyye trudy* — [Selected Works], Vol. 1, M., Izd-vo AN SSSR [Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR], 1963, 621 p. (In Russian).

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.5:549 (470.42)

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОКАМЕНЕЛОГО ДЕРЕВА УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ

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

Впервые изучены минеральный состав и геммологические характеристики окаменелого дерева Ульяновской области ювелирно-поделочного качества. Окаменелое дерево связано с нижнемеловыми отложениями и состоит преимущественно из кальцита (до 73 мас. %), присутствуют пирит, апатит, гипс; фиксируются доломит, ангидрит, гематит, пиролюзит, органическое вещество, рентгеноаморфное вещество. По технологическим и декоративным характеристикам окаменелое дерево Ульяновской области является качественным ювелирно-поделочным материалом флорогенной группы.

Ключевые слова: ювелирно-поделочное сырьё; окаменелое дерево; кальцит; нижнемеловые отложения; Ульяновская область.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-18-40

MINERAL COMPOSITION AND GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE PETRIFIED WOOD OF THE ULYANOVSK REGION

D.A. PETROCHENKOV

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

For the first time, the mineral composition and gemological characteristics of the petrified wood from the Ulyanovsk region, of jewelry and ornamental quality, have been studied. The petrified wood is associated with the Lower Cretaceous deposits and consists mainly of calcite (up to 73 mass. %); pyrite, apatite, gypsum are present; dolomite, anhydrite, hematite, pyrolusite, organic matter and X-ray amorphous substance have been fixed. According to the technological and decorative characteristics, the petrified wood of the Ulyanovsk region is a quality jewelry and ornamental material of the florogenic group.

Keywords: jewelry and ornamental raw materials; petrified wood; calcite; Lower Cretaceous deposits; Ulyanovsk region.

Окаменелое дерево — популярный ювелирно-поделочный материал флорогенной группа [2]. Сохранение текстуры древесины, деталей её строения, разнообразие расцветок и хорошая полируемость делает окаменелое дерево высокодекоративным и технологичным материалом. Окаменелое дерево встречается в различных регионах мира. Всемирной известностью пользуется национальный парк «Окаменелый лес» в штате Аризона, США. Стволы араукариевых сосен возрастом 200 млн лет и размером более 3 м замещены халцедоном и опалом [2]. Объекты с окаменелым деревом известны и в РФ, но в качестве ювелирно-поделочного материала оно используется в крайне ограниченных количествах.

В последний период на российском рынке появился широкий ассортимент сувенирных, интерьерных и ювелирных изделий из окаменелого дерева Ульяновской области (рис. 1). Окаменелое дерево ювелирно-поделочного качества связано с нижнемеловыми отложениями. Они представлены серо-коричневыми рыхлыми песчаниками, тёмно-серыми глинистыми алевритами и чёрными глинами. В разрезе находятся также слои чёрных горючих сланцев и слой крупных плотно расположенных карбонатных конкреций «аптская плита». Общая мощность нижнемеловых отложений около 100 м [1, 3].

Сбор окаменелого дерева осуществляется в весенне-летний период из склоновых отложений и в зоне пляжа р. Волга, без горных выработок и нарушения экологии. Отдельные куски окаменелого дерева имеют массу в несколько килограмм, что позволяет изготавливать и крупные сувенирные изделия.

В ульяновской области помимо окаменелого дерева добывают и другие виды ювелирно-поделочного сырья: аммониты, септарии, конкреции с фосфоритами, спектропирит, сенгилит, окаменелости морских рептилий [4, 5], что делает широкий ассортимент изделий, а производство высоко rentабельным. Ряд видов ювелирно-поделочного сырья остаётся геммологически не изученным. К

ним относится и окаменелое дерево. Детальные минералогические и геммологические исследования окаменелого дерева Ульяновской области проведены автором впервые.

Методы исследований

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

Количественное определение химического состава окаменелого дерева выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА), на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минераграфический анализы выполнены с использованием микроскопа «Полам Р-112». Микротвёрдость определялась на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и экспозицией 15 с. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G150D». Люминесценция изучалась под ультрарафиолетовой лампой «Multispec System Erickhorst» с λ 254 и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на установке «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратно-рассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии.

Результаты исследований

По данным РКФА окаменелое дерево состоит преимущественно из кальцита (до 73 мас. %). Концентрация изоморфной примеси $MgCO_3$ в кальци-

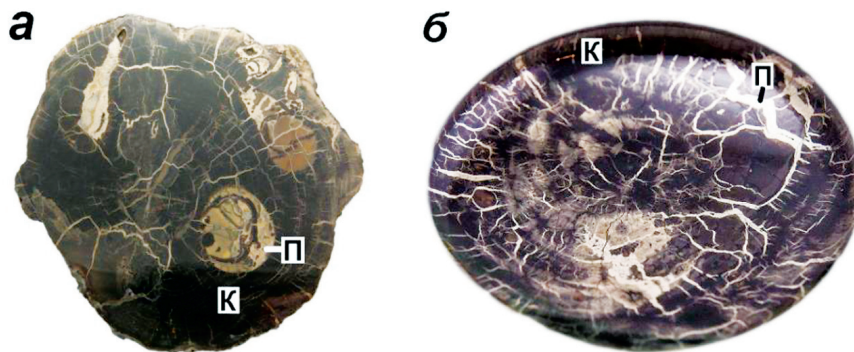


Рис. 1. Полированная пластина 9×10 см (а) и кабашон 40×30 мм (б) окаменелого дерева: К — кальцит, П — пирит

Таблица 1

Химический состав окаменелого дерева по данным РФА

Номер образца	Содержание компонента, мас. %											
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	ППП
У-Д	0,11	1,34	0,01	0,06	0,01	40,75	0,01	2,80	7,42	2,66	10,45	35,81
Д-5	0,22	1,13	0,00	0,08	0,01	38,92	0,01	3,70	9,88	6,63	12,11	27,12

Примечание. ППП — потери при прокаливании.

Таблица 2

Содержание элементов-примесей в окаменелом дереве по данным РФА

Номер образца	Содержание элемента ($n \times 10^{-4}$ мас. %)															
	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	U	Th	Y	Nb	Pb	As
У-Д	<10	20	<10	<10	<10	<10	<10	852	<10	55	<10	<10	15	<10	<10	<10
Д-5	<10	15	<10	10	<10	<10	<10	1088	<10	118	<5	<5	34	5	<10	<10

те составляет 7 мас. %. В значительных количествах присутствуют, мас. %: пирит до 15, апатит до 16, а также гипс до 2. Фиксируются доломит, ангидрит, гематит, пиролюзит и рентгеноаморфная фаза. Низкие содержания Na₂O, Al₂O₃, SiO₂, K₂O свидетельствуют об отсутствии алюмосиликатов и кварца, а повышенные количества MnO (до 3,70 мас. %) — о присутствии пиролюзита (табл. 1). Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания, мас. %: Sr до 0,1088, Ba до 0,0118 и низкие V до 0,0020, Y до 0,0034. Отметим, близкие к

фоновым содержания радиоактивных U, Th, и канцерогенных Pb, As элементов (табл. 2).

Окаменелое дерево Ульяновской области преимущественно чёрной, реже тёмно-коричневой и редко коричневой окрасок. Сохраняется исходная структура дерева с годовыми кольцами. Характерны тонкие (0,1 мм) прожилки пирита и более крупные — до 5 мм — кальцита. Текстура массивная, чаще полосчато-кольцевая.

Окаменелое дерево — плотная непрозрачная порода, хорошо полируется до зеркального блеска.

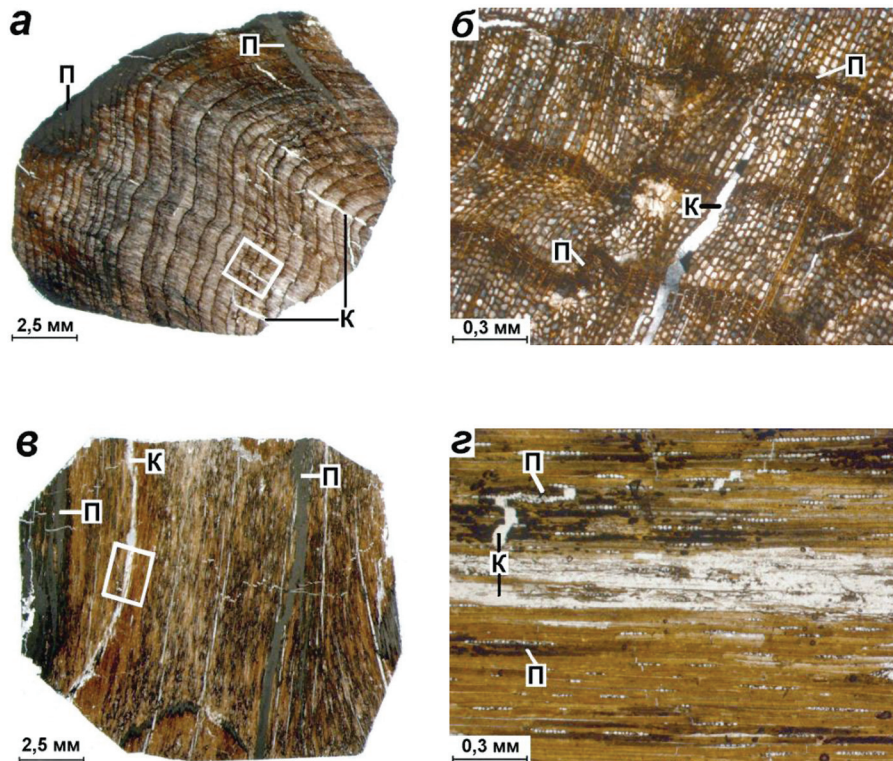


Рис. 2. Общий вид прозрачного шлифа поперечной (а) и продольной (в) поверхности окаменелого дерева и фрагменты детализации (б, г). Без анализатора; К — кальцит, П — пирит, прямоугольник — фрагмент детализации

Раскалывается с раковистым, неровным изломом поперёк исходной структуры дерева и с ровным — вдоль. Микротвёрдость для участков, выполненных кальцитом, составляет, в среднем, 236 кг/мм², для пиритизированных участков возрастает до 543 кг/мм². Плотность изменяется от 2,7 до 2,8 г/см³. Люминесценция характерна для кальцитовых прожилков в желтовато-белёсых тонах.

В прозрачном шлифе хорошо проявлена структура окаменелого дерева, характеризующаяся годовыми кольцами (рис. 2, а, б). Ширина годовых колец от 0,2 до 1 мм. Поперёк годовым кольцам расположены параллельные цепочки ячеек, представляющие собой замещённые кальцитом и апатитом растительные клетки. Размер ячеек около 0,03 мм. Продольная поверхность окаменелого дерева имеет слоисто-параллельную текстуру (рис. 2, в, г). Слои, шириной 0,03—0,06 мм, достаточно выдержаны.

Кальцит, выполняющий ячейки, бесцветный, имеет одинаковую ориентировку в виде цепочек между годовыми кольцами. Размер кристаллов соответствует размеру ячейки. Стенки ячеек и зоны контакта годовых колец без анализатора имеют коричневый цвет (рис. 2, б) и образованы тонкодисперсным апатитом. На продольной поверхности окаменелого дерева наблюдается удлинённая форма кристаллов кальцита (рис. 2, г). В бесцветных слоях кальцит имеет призматическую форму,

в коричневых — игольчатую. Игольчатые кристаллы в отдельных фрагментах образуют сноповидные агрегаты. Характерен близкий угол угасания и отсутствие плеохроизма коричневых слоёв. В кальците присутствуют многочисленные дисперсные включения пирита.

Для окаменелого дерева характерны как поперечные, так и продольные прожилки кальцита и пирита. Контакты прожилков чёткие, достаточно ровные. Ширина пиритовых прожилков 0,02—0,5 мм, кальцитовых не превышает 0,2 мм. Пирит может замещать и более крупные участки шириной до 1,5 мм (рис. 2, а, в). Кальцит, выполняющий трещины, изометричной формы. Его размер в тонких прожилках соответствует их ширине. В более широких прожилках рост кристаллов кальцита осуществляется от обеих стенок трещин. Иногда наблюдаются прожилки, выполненные одновременно кальцитом и пиритом. Кальцит может располагаться по краям прожилка, а пирит в центральной части. В узких прожилках часто минералы последовательно сменяют один другой. Пиритовые прожилки преимущественно пересекают кальцитовые, что указывает на его более позднее образование.

В ОРЭ отчётливо проявляется структура и различный минеральный состав окаменелого дерева что позволило установить особенности распределения минералов (рис. 3, 4). Кальцит замещает исходное органическое вещество древесины с сохра-

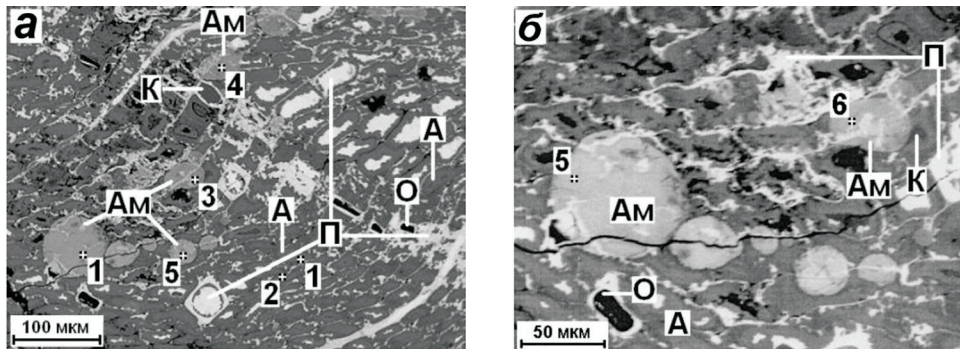


Рис. 3. Включения пирита (П), органического вещества (О), аморфного вещества (Ам) в окаменелом дереве. Микронзонд, изображение в ОРЭ; К — кальцит, А — апатит, 1-6 — номер спектра

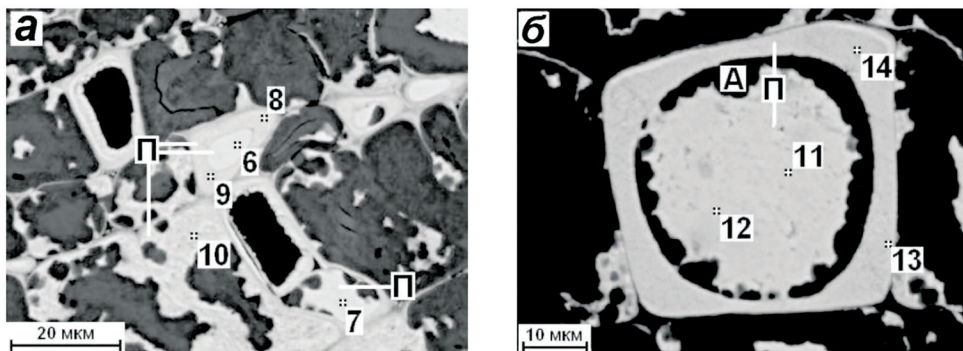


Рис. 4. Включения пирита в окаменелом дереве. Микронзонд, изображение в ОРЭ. П — пирит, А — апатит, 6-14 — номер спектра

Таблица 3

Химический состав кальцита в окаменелом дереве по данным РСМА

Содержание элемента, мас. %				
Mg	Mn	Fe	Ca	O
0,41—0,65 0,56	2,28—3,06 2,83	0,17—0,94 0,40	34,45—36,06 35,43	16,04—17,11 16,65

Примечание. Над чертой — максимальное и минимальное содержания, под чертой — среднее по шести спектрам.

нением его структуры. По данным РСМА в кальците фиксируются повышенные содержания в среднем, мас. %: Mg 0,56, Fe 0,40 и высокие содержания Mn 2,83 (табл. 3).

Апатит занимает как центральную часть замещённых клеток древесины, так и краевой контур или выполняет их полностью. В апатите фиксируются высокие содержания P, Ca и O, повышен-

личной окраске в ОРЭ. На основном светлом фоне присутствуют многочисленные точки, пятна, полосы серого цвета (рис. 4). Неоднородный состав пирита подтверждается значительными колебаниями содержаний элементов в спектрах.

Помимо основных вышеописанных минералов в окаменелом дереве фиксируются органическое вещество и рентгеноаморфное вещество сложного химического состава (рис. 3). Органическое вещество выполняет исходные структурные элементы древесины размером до 30 мкм, а также развивается по контурам апатит-кальцитовых выделений, заполняет поры (рис. 3). По данным РСМА в органическом веществе фиксируются повышенные содержания Na, Mg, P, S, Ca, Mn, Fe, Ge и O (табл. 4).

Рентгеноаморфное вещество также в определённых участках окаменелого дерева присутствует

Таблица 4

Химический состав органического вещества в окаменелом дереве по данным РСМА

Номер спектра	Содержание элемента, мас. %								
	Na	Mg	P	S	Ca	Mn	Fe	Ge	O
1	0,19	0,50	0,10	1,75	5,42	1,04	0,70	1,53	6,54
2	— —	0,52	0,11	3,11	5,89	1,16	0,89	1,56	8,97

Таблица 5

Химический состав рентгеноаморфного вещества в окаменелом дереве по данным РСМА

Номер спектра	Содержание элемента, мас. %						
	Na	P	S	Ca	Mn	Fe	O
1	0,48	6,48	1,98	19,24	0,58	22,70	29,18
2	0,05	5,56	1,76	16,86	0,71	28,19	29,06
3	0,26	7,39	1,74	22,18	0,34	19,82	29,78
4	0,29	7,42	1,29	21,06	0,60	21,10	29,32
5	0,24	6,90	1,57	20,45	0,61	22,60	29,34
6	0,12	7,11	1,92	21,46	1,20	17,96	28,68

ные — Na, Mg, S, Mn и Fe. По химическому составу его можно отнести к гидроксапатиту. Значение содержаний в спектрах существенно отличается, что связано с микровключениями других минералов.

Пирит более поздний минерал, развивается по трещинкам, образует каймы вокруг выделений кальцита и апатита, выполняет значительные по площади фрагменты (рис. 3, 4). Кристаллы пирита, размером 1—3 мкм, при срастании образуют более крупные выделения с неровными контурами. Из элементов-примесей в пирите фиксируются повышенные содержания, мас. %: O до 7,9 и Ca до 1,2. Содержание O связано с окислением пирита и образованием оксидов Fe и сульфатов. Присутствие Ca обусловлено включениями апатита и кальцита, которые замещают пирит. Неоднородный состав пиритизированных участков проявляется в их раз-

в значительных количествах. Оно образует округлые выделения с ровным контуром размером от 15 до 70 мкм (рис. 3). Эти выделения пересекаются без видимых изменений цепочками кристаллов пирита, трещинками. Присутствуют в них многочисленные включения пирита, а судя по неоднородной окраске в ОРЭ, и апатит — кальцитового состава (рис. 3). По данным РСМА в аморфном веществе фиксируются высокие содержания P, Ca, Fe, O и повышенные Na, S и Mn (табл. 5). По содержанию элементов рентгеноаморфное вещество близко по составу к апатиту с примесью Fe.

Выводы

Окаменелое дерево состоит преимущественно из кальцита (до 73 мас. %), присутствуют пирит, апатит, гипс; фиксируются доломит, ангидрит, ге-

матит, пиролюзит, органическое и рентгеноаморфное вещество. Сохраняется исходная структура дерева с годовыми кольцами. Кальцит и апатит замещают исходное органическое вещество древесины, имеют дисперсный размер кристаллов. Кальцит выполняет также мелкие трещинки шириной до 0,2 мм. Пирит более поздний минерал, развивается по трещинкам, образует каймы вокруг выделений

кальцита и апатита. Кристаллы пирита размером 1–3 мкм, при срастании образуют более крупные выделения, которые могут выполнять значительные по площади фрагменты. По технологическим и декоративным характеристикам окаменелое дерево Ульяновской области является качественным ювелирно-поделочным материалом флорогенной группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабошкин Е.Ю. Палеогеография Восточно-Европейской платформы и ее южного обрамления в раннем мелу // Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». Вып. 1. М.: Изд. Геокарт. ГЕОС, 2005. С. 201–232.
2. Буканов В.В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб., 2014. 464 с.
3. Геология СССР. Поволжье и Прикамье. Т. XI. Ч. 1. Геологическое описание / Под ред. Сидоренко А.В. М.: Недра, 1967. 872 с.
4. Петроченков Д.А. Камнесамоцветное сырьё Ульяновской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 319–323.
5. Петроченков Д.А. Ружицкий В.В. Минералогические особенности ювелирного пирита из меловых отложений Ульяновской области // Разведка и охрана недр. 2018. № 4. С. 7–12.

REFERENCES

1. Baraboshkin E.Yu. Palaeogeography of the East European Platform and its southern framework in the Early Cretaceous. *A series of analytical reviews «Essays on regional geology of Russia»*. 2005, vol. 1, M., Geokart, GEOS Publ., pp. 201–232 (In Russian).
2. Bukanov V.V. *Colored stones and collection minerals. Encyclopedia*. Saint Petersburg, 2014, 464 p. (In Russian).
3. Geology of the USSR. *The Volga region and the Kama region. Geological Description*. vol. XI, no. 1, 1967, Edited by Sidorenko A.V. M., Nedra Publ., 872 p. (In Russian).
4. Petrochenkov D.A. Colored-stone raw materials from Ulyanovsk region. *Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)*, 2006, vol. 5, M., MSMU Publ., pp. 319–323. (In Russian).
5. Petrochenkov D.A., Ruzhitsky V.V. Mineralogical peculiarities of jewelry pyrite from the Cretaceous deposits of the Ulyanovsk region. *Prospect and protection of mineral resources*, 2018, vol. 4, pp. 7–12. (In Russian).

УДК 550.42

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ КРЯЖА ЕНГАНЭ-ПЭ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Н.Ю. НИКУЛОВА

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
 54, Первомайская ул., г. Сыктывкар 167892, Россия
 e-mail: nikulova@geo.komisc.ru

Приведены результаты изучения вещественного состава песчаников верхнекембрийско-нижнеордовикской манитаньрдской серии в южной части кряжа Енганэ-Пэ (Полярный Урал). Изучение литологических и геохимических характеристик полевошпат-кварцевых песчаников позволило установить, что они образовались в мелководном бассейне на пассивной континентальной окраине в условиях холодного климата. Эпизод вулканической активности, связанный с эпиконтинентальным рифтогенезом, приведший к возникновению субсогласного тела ультракалийевых базальтоидов, на удалении от него маркируется горизонтом песчаников, содержащих «конкреционные» образования. В составе песчаников присутствует слабо изменённый вулканомиктовый материал, они не содержат рециклированных обломков и перетолженного материала коры выветривания. Петрохимические особенности манитаньрдских песчаников не позволяют ожидать обнаружения в них осадочной золоторудной минерализации.

Ключевые слова: песчаник; вещественный состав; обломки; условия осадконакопления.

MATERIAL COMPOSITION AND FORMATION CONDITIONS OF LOWER PALEOZOIC SANDSTONES OF ENGANE-PE RIDGE (POLAR URALS)

N.YU. NIKULOVA

*Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
54, Pervomayskaya st., Syktyvkar 167892, Russia
e-mail: nikulova@geo.komisc.ru*

The paper presents the results of the study of the material composition of Upper Cambrian-Lower Ordovician Manitanyrd sandstones series in the southern part of Engane-Pe Ridge (Polar Urals). The study of the lithological and geochemical characteristics of feldspar-quartz sandstones has confirmed their formation in a shallow-water basin at the passive continental margin in a cold climate. An episode of volcanic activity, associated with the epicontinental riftogenesis, resulted in the appearance of a sub-comformable body of ultra-potassium basaltoids, and at a distance from it, there is a sandstone horizon containing “concretion” formations. In the composition of the sandstones there is a slightly altered volcanomictic material but they lack of recycled fragments and redeposited material of the weathering crust. The petrochemical features of Manitanyrd sandstones do not allow expecting sedimentary gold mineralization in them.

Key words: sandstone; material composition; fragments; sedimentation conditions.

В пределах кряжа Енганэ-Пэ на западном склоне Полярного Урала (рис. 1, А) литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния в ходе работ ЗАО «Голдминералс» выявлены аномалии золота в минерализованных зонах дробления и расщепления в терригенно-вулканогенных отложениях фундамента — бедамельской (R_3-V_2bd) и енганэпейской (V_2-E_1en) свит, а также золотоносных корях выветривания. Предполагается присутствие проявлений золоторудной минерализации в нижнепалеозойских терригенных толщах, в зоне структурно-стратиграфического несогласия фундамент/чехол¹. Определение генетической и фациальной принадлежности, установление источников обломочного материала, палеотектонических и палеогеографических условий осадконакопления нижнепалеозойских терригенных толщ с помощью литолого-геохимических методов необходимо для воссоздания истории развития региона и особенно актуально для металлогенического прогнозирования.

Целью данной работы является выявление характеристик вещественного состава песчаников базальных горизонтов манитанырдской серии, зависящих и, соответственно, указывающих на генетическую принадлежность песчаников, реконструкция на основе литологических, петрохимических и минералогических особенностей, обстановок их формирования.

Геологическое строение кряжа Енганэ-Пэ

Осевой частью хребта Енганэ-Пэ является антиклинальная структура северо-восточной ориентировки, протяженностью около 60 км и шириной около 20 км, сложенная породами рифей-вендского

и нижнепалеозойского структурных этажей, разделённых угловым, стратиграфическим и азимутальным несогласиями (рис. 1, Б). Ядро антиклинали сложено отложениями бедамельской (R_3-V_2bd) серии и енганэпейской (V_2-E_1en) свиты. Отложения верхнего структурного этажа распространены на крыльях складки и представлены осадочными породами нижнепалеозойского возраста. Интрузивные горные породы представлены позднерифейскими экстрозивно-субвулканическими образованиями нижней толщи бедамельской серии и поздневендскими кислыми экстрозивно-субвулканическими образованиями лядгейского комплекса и кзыгейского плагиогранит-диоритового комплекса. Манитанырдская серия (E_3-O_1mn) расчленяется на две части: нижнюю — красноцветную, соответствующую тельпосской свите Северного Урала и обеизской свите Приполярного Урала, и верхнюю — зеленоцветную, соответствующую хьдейской (саледской) свите.

Нижняя часть разреза манитанырдской серии сложена песчаниками, содержащими линзы и невыдержанные прослои гравелитов и мелкогалечных конгломератов, мощностью несколько метров. Песчаники, основными породообразующими минералами которых являются кварц и полевые шпаты, содержащиеся в различных соотношениях, представлены всеми гранулометрическими разновидностями — от алевритовых до крупнозернистых и гравийных. Алевриты занимающие подчиненное положение имеют преимущественно кварцевый, редко полевошпат-кварцевый состав. Сланцы кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые, кварц-хлоритовые, серицит-хлоритовые встречаются редко и образуют слои мощностью от нескольких миллиметров до 0,5 м.

¹ Здесь и далее при описании геологического строения приведены материалы отчета: «Прогнозно-поисковые работы на золото в пределах хр. Манитанырд и Енганэ-Пэ (Республика Коми)». Л.И. Ефанова и др., Сыктывкар, 2009 г.

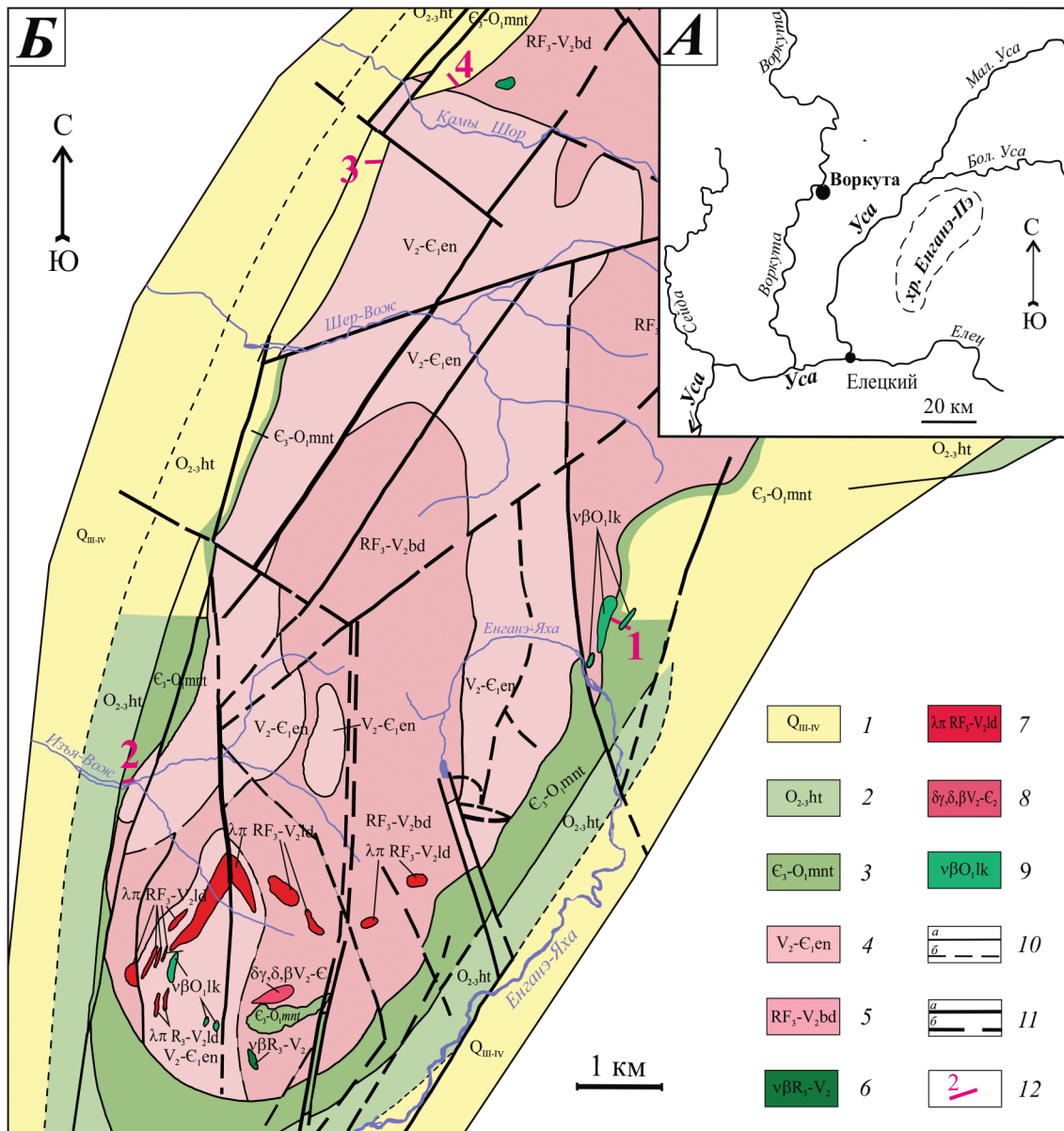


Рис. 1. Схема расположения кряжа Енганэ-Пэ (А) и схематическая геологическая карта (Б) южной части хр. Енганэ [по Ефанова, 2009 г.]: 1 — верхнечетвертичные—современные отложения: глыбы, щебень, дрова, галечники, пески, супеси, суглинки; 2 — хантейская свита: известняки с прослоями сланцев и алевролитов, доломитов и доломитизированных известняков; 3 — манитаньрдская серия нерасчленённая: конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, покровы эффузивов базальт-риолитовой формации; 4 — енганэпейская свита: аргиллиты, алевролиты, гравелиты; 5 — бедамельская серия: эффузивы основного, среднего, кислого составов и их туфы, линзы известняков; 6 — экстрозивно-суб- вулканические образования нижней толщи бедамельской серии: габбро, габбро-долериты; 7 — экстрозивно- субвулканические образования кислого состава лядгейского комплекса вулканического; 8 — кызыгейский комплекс габбро-диоритовый: диориты, гранодиориты, плагиограниты; 9 — леквожский комплекс: оливиновые габбро и долериты, пикродолериты; 10 — геологические границы: а — достоверные, б — предполагаемые; 11 — разрывные нарушения: а — достоверные, б — предполагаемые; 12 — изученные разрезы

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются песчаники из нижней части позднекембрийско-раннеордовикской манитаньрдской серии, описанные и опробованные в ходе полевых работ 2005 и 2017 гг. в четырёх разрезах, вскрывающих зону контакта фундамент/чехол в южной части хребта Енганэ-Пэ (рис. 1, Б). Для исследования отобраны образцы мелкозернистых песчаников, петрографический сос-

тав которых изучен в прозрачных шлифах. Содержание породообразующих оксидов определено традиционным весовым химическим методом в лаборатории Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). При интерпретации результатов химических анализов использовались различные индикаторные соотношения и коэффициенты, позволяющие установить генетическую принадлежность, источники и способы поступления обломочного материала, палеоклиматические и палео-

геодинамические условия образования отложений. Минералогические пробы в полевых условиях дробились в ступе и промывались до серого шлиха, после чего разделялись на фракции с использованием бромформа, магнитной и электромагнитной сепарации.

Литологическая характеристика песчаников

Отложения манитаньрдской серии не образуют протяженных коренных выходов, встречаются в отдельных скальных уступах среди элювиально-делювиальных развалов на склонах. Песчаники преимущественно массивные, редко — неясно-горизонтально слоистые за счёт неравномерного распределения темноцветных минералов. На западном склоне кряжа Енганэ-Пэ в коренном выходе и окружающих его развалах в разрезе с координатами 66°33'68" с.ш., 64°66'36" в.д. (рис. 1, Б, разрез 3)

в песчанике обнаружены необычные для манитаньрдских пород текстуры — полусферические углубления, диаметром от 1 до 3 см (рис. 2, а), идеально круглые объёмные образования «сросшиеся» с породой (рис. 2, б) или «вложенные» в неё (рис. 2, в). Последние выглядят слоистыми и внешне напоминают одиночные кораллы. На срезе такие образования представляют собой части полусфер, сложенные таким или немного более выветрелым, неслоистым песчаником, что и вмещающая порода (рис. 2, г, д).

Изученные песчаники манитаньрдской серии характеризуются бластосаммитовой структурой и массивной текстурой (рис. 2, е). Редко наблюдается сланцеватая текстура, заметная благодаря ориентировке чешуек слюдистых минералов. Цемент глинисто-железистый плёночного типа и поровый, сложенный микрозернистым агрегатом кварца, хлорита и серицита. Обломки представлены

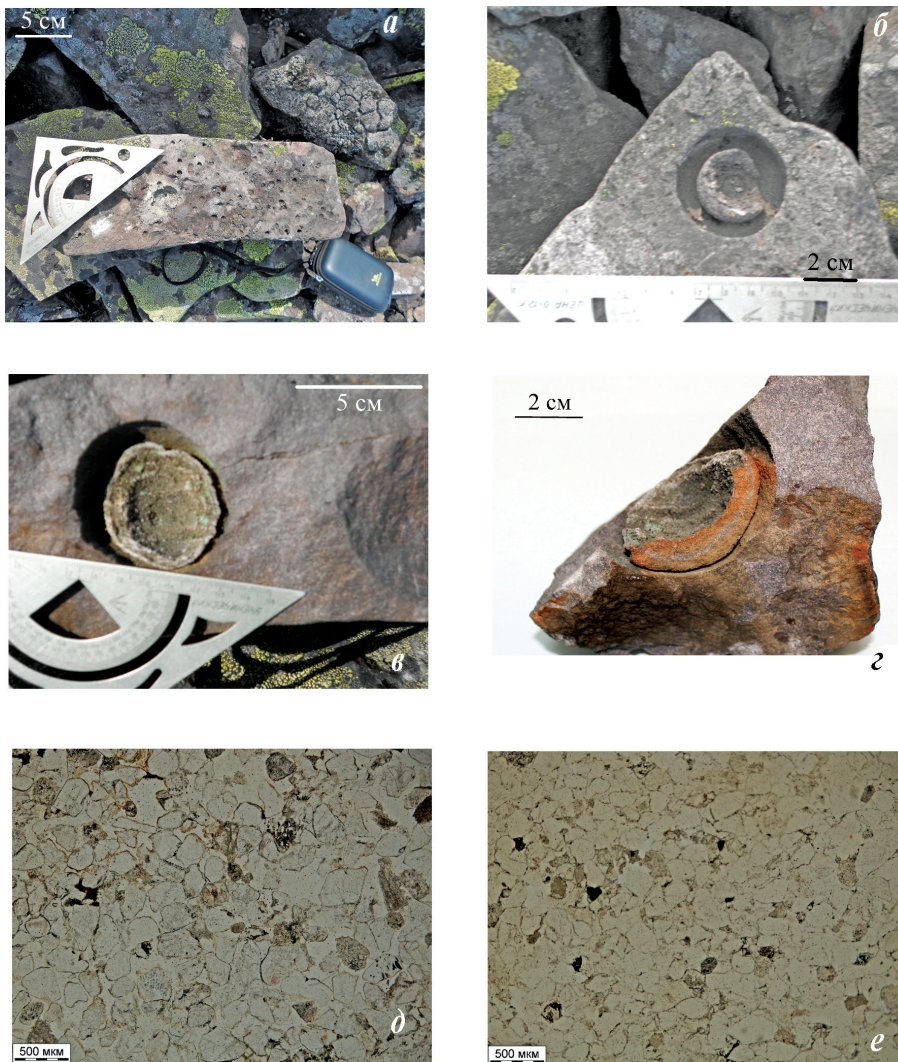


Рис. 2. Текстурные и структурные особенности песчаников манитаньрдской серии: а — поверхность с большим числом полусферических углублений различного диаметра; б — округлое, «сросшееся» с вмещающим песчаником образование; в–г — «вложенная» в песчаник полусфера: в — вид сверху; г — разрез; д — песчаник, слагающий «вложенную» полусферу; е — песчаник манитаньрдской серии, обр. 44, разрез 3; фото г, д — в проходящем свете

Таблица 1

Химический состав песчаников, мас. %															
Номер п/п	Номер разреза	Номер образца	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Сумма
1	1	9-1	82,96	0,89	6,80	1,97	0,92	0,010	0,56	0,10	0,24	3,77	0,03	1,14	99,39
2		9-2	93,34	0,32	2,76	0,23	0,66	0,009	0,29	0,10	1,12	1,36	0,03	0,49	100,71
3		10	88,77	0,38	4,11	0,06	1,72	0,009	0,49	0,10	0,18	2,25	0,03	0,74	98,84
4		11	79,21	0,85	8,86	2,08	1,28	0,010	0,86	0,20	0,26	4,29	0,06	1,65	99,61
5		12	93,48	0,20	2,68	0,86	0,43	0,009	0,36	0,40	0,14	1,47	0,03	0,30	100,36
6		18	85,75	0,18	6,58	1,88	0,82	0,033	0,42	0,74	0,34	1,45	0,04	1,64	99,87
7		19	84,59	0,33	7,21	1,06	1,96	0,022	0,72	0,40	1,14	1,16	0,05	1,42	100,06
8		22	86,70	0,21	5,08	1,57	0,73	0,029	0,48	1,23	1,41	0,81	0,03	1,41	99,69
9		23	86,69	0,19	5,90	1,38	1,20	0,039	0,88	0,86	1,51	0,61	0,03	1,38	100,67
10		24	84,88	0,31	7,16	1,50	1,37	0,016	0,62	0,4	1,66	1,2	0,04	1,08	100,24
11		27	91,88	0,25	3,44	1,05	0,99	0,010	0,49	0,10	0,20	0,65	0,03	0,73	99,82
12	2	203	81,54	0,65	7,98	1,60	0,85	0,037	1,03	0,56	1,05	2,62	0,07	1,98	99,97
13		216	73,94	2,18	10,77	3,19	0,82	0,014	0,88	0,56	0,17	5,19	0,14	2,13	99,98
14		220	84,80	1,55	5,89	2,16	0,47	0,005	0,40	0,45	0,10	2,77	0,04	1,39	100,02
10		210	70,26	0,88	12,04	4,29	1,13	0,076	1,65	1,01	0,42	5,14	0,12	3,10	100,12
11	3	43 а	77,46	0,59	7,90	1,42	1,71	0,061	1,14	1,63	0,32	4,43	0,08	3,02	99,77
12		45	87,67	0,24	5,45	1,21	0,73	0,006	0,29	0,23	0,23	2,94	0,03	0,73	99,76
13		47	85,78	0,06	5,01	0,19	1,85	0,065	0,84	1,40	0,62	0,99	0,07	3,74	100,61
14	4	10-3-4	79,36	1,92	5,76	0,37	2,59	0,064	1,06	2,72	0,93	1,02	0,20	3,79	99,79
15		10-2-3	89,74	0,46	3,90	0,96	1,00	0,015	0,55	0,20	0,10	1,51	0,09	1,19	99,84
16		10-1-3	74,61	0,31	4,61	2,67	1,42	0,250	1,68	5,64	0,52	0,97	0,80	6,14	99,66

кварцем, полевым шпатом, силицитом, глинистым сланцем, кварцевой породой с микропйкилитовой структурой. В аксессуарных количествах в шлифах встречены циркон, титанит, эпидот и лейкоксен. Минералогический анализ тяжёлых фракций протолочных проб показал присутствие в составе тяжёлой фракции гематита, турмалина, циркона, эпидота, титанита, апатита, граната, амфибола, хромита, пирита, халькопирита, рутила, анатаза, лейкоксена.

По химическому составу песчаники манитаньрдской серии схожи (табл. 1). Они содержат от 70,26 до 91,88 мас. % SiO₂, причём минимальные содержания этого оксида и максимальные содержания щелочей отмечены в песчаниках из разреза на руч. Изъявож, вблизи контакта с телом ультракалийевых базальтоидов.

Для типизации песчаников, установления источников обломочного материала и реконструкции их условий образования использованы петрохимические модули и индикаторные соотношения, рассчитанные на основе породообразующих оксидов (табл. 2).

На диаграмме K₂O–Na₂O [2] в поле граувакк попали фигуративные точки псаммитов, в составе которых присутствуют обломки основных интрузивных пород с натриевым типом щелочности (рис. 3, а). Фигуративные точки на диаграмме log(Fe₂O_{3обш}/K₂O)–log(SiO₂/Al₂O₃) [11] расположены в полях аркозов, субаркозов, сублититов и лититов (рис. 3, б). При этом существенно натриевые песчаники на диаграмме K₂O–Na₂O, попавшие в

область граувакк, оказались в поле сублититов и лититов. Главными породообразующими минералами субаркозовых и аркозовых песчаников являются кварц и кислый плагиоклаз, в сублититовых и лититовых разновидностях — кварц и средний плагиоклаз.

На диаграмме F3–F4 [15], характеризующей предполагаемые источники обломочного материала, фигуративные точки песчаников манитаньрдской серии расположены преимущественно в полях изверженных пород среднего и кислого составов (рис. 4).

Четыре точки, соответствующие песчаникам с максимальными содержаниями SiO₂, попали в область богатых кварцем осадочных образований. Такое распределение точек на диаграмме объясняется щелочным характером распространенных в районе основных вулканитов, содержащих существенные количества калия и натрия. Эти показатели отразились на соответствующих коэффициентах и привели к смещению фигуративных точек в области более кислых пород. В нижних частях полей изверженных пород среднего и кислого составов (значения F4 < –10) расположены точки песчаников, состав обломочного материала которых сформирован главным образом за счёт размыва близких по времени образования вулканитов, а точки в верхних частях этих полей соответствуют песчаникам, в формировании которых в различной степени принимали участие и породы фундамента.

Большой разброс значений гидролизатного модуля (ГМ) [6] — от суперсилитов до нормосиалли-

Таблица 2

Индикаторные соотношения и модули

Но- мер раз- реза	Но- мер образ- ца	Log ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$)	Log ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$)	F1	F2	F3	F4	$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{MgO}$	CIA	ICV	CIW	Fe/Mn	(Fe+Mn)/Ti	Al/(Al+Fe+Mn)	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	HKM	ГМ	ТМ	ФМ
1	1	-0,28	1,09	-4,21	-2,07	14,65	-9,41	15,71	12,20	0,08	2,53	59	1,25	92	178,14	2,27	0,73	4,01	0,59	0,13	0,131	0,04
2	9-2	-0,77	1,53	-3,09	-0,05	19,22	6,69	1,21	33,82	0,03	0,52	44	1,74	58	83,66	2,68	0,72	2,48	0,90	0,04	0,116	0,01
3	10	-1,57	1,33	-3,29	-1,57	17,05	10,21	12,50	21,60	0,05	0,55	58	1,14	90	191,42	5,13	0,62	2,43	0,59	0,07	0,092	0,03
4	11	-0,31	0,95	-3,68	-2,88	11,82	-12,88	16,50	8,94	0,11	2,94	62	1,13	92	218,52	2,91	0,74	4,55	0,51	0,17	0,096	0,05
5	12	-0,23	1,54	-3,84	-0,53	12,91	0,93	10,50	34,88	0,03	1,22	51	1,60	74	89,52	4,59	0,70	1,61	0,60	0,04	0,075	0,02
6	18	0,11	1,12	-3,41	-0,67	-0,24	-18,66	4,26	13,03	0,08	2,30	65	0,91	78	49,78	10,49	0,73	1,79	0,27	0,11	0,027	0,04
7	19	-0,04	1,07	-2,39	-0,60	1,51	-8,82	1,02	11,73	0,09	1,78	65	0,94	73	109,23	8,28	0,67	2,30	0,32	0,13	0,046	0,04
8	22	0,29	1,23	-2,57	0,64	0,69	-15,45	0,57	17,07	0,06	2,05	48	1,56	53	48,85	7,76	0,71	2,22	0,44	0,09	0,041	0,03
9	23	0,35	1,17	-2,36	0,59	-0,50	-12,71	0,40	14,69	0,07	2,26	56	1,37	59	46,04	10,88	0,69	2,12	0,36	0,10	0,032	0,04
10	24	0,10	1,07	-2,29	-0,35	1,67	-14,48	0,72	11,86	0,08	2,12	60	1,07	6	126,04	7,39	0,71	2,86	0,40	0,12	0,043	0,04
11	27	0,21	1,43	-3,68	0,76	0,45	-5,02	3,25	26,71	0,04	1,54	74	1,00	87	144,22	6,55	0,62	0,85	0,25	0,06	0,073	0,03
12	2	-0,21	1,01	-2,79	0,12	7,75	-9,77	2,50	10,22	0,10	2,63	59	1,26	74	41,84	2,75	0,78	3,67	0,46	0,14	0,081	0,04
13	216	-0,21	0,84	-4,52	-0,23	13,95	-19,37	30,53	6,87	0,15	4,07	61	1,30	89	158,87	1,16	0,77	5,36	0,50	0,23	0,202	0,07
14	220	-0,11	1,16	-5,04	1,02	14,43	-5,29	27,70	14,40	0,07	2,56	60	1,42	86	284,39	1,04	0,74	2,87	0,49	0,12	0,263	0,04
15	210	-0,08	0,77	-3,27	-2,69	7,93	-37,64	12,24	5,84	0,17	5,94	60	1,34	83	39,71	3,96	0,73	5,56	0,46	0,26	0,073	0,10
16	3	-0,49	0,99	-2,68	-3,47	15,05	-4,65	13,84	9,81	0,10	2,56	49	1,63	69	37,97	4,54	0,70	4,75	0,60	0,15	0,075	0,06
17	45	-0,39	1,21	-3,61	-2,74	12,18	-7,16	12,78	16,09	0,06	1,50	58	1,07	87	209,47	5,93	0,75	3,17	0,58	0,09	0,044	0,03
18	47	-0,72	1,23	-2,07	0,08	3,19	1,37	1,60	17,12	0,06	1,03	52	1,52	58	29,36	4,04	0,64	1,61	0,32	0,08	0,011	0,03
19	4	-0,44	1,14	-2,23	4,40	12,59	17,70	1,10	13,78	0,07	1,43	43	2,25	47	42,47	1,63	0,59	1,95	0,34	0,13	0,33	0,05
20	10-2-3	-0,20	1,36	-3,40	0,71	9,19	0,85	15,10	23,01	0,04	1,51	64	1,22	88	94,14	3,50	0,66	1,61	0,41	0,07	0,12	0,03
21	10-1-3	0,44	1,21	3,50	7,85	-0,11	-16,16	1,87	16,18	0,06	4,35	27	4,03	29	10,34	10,30	0,53	1,49	0,32	0,12	0,07	0,08

Примечание: F1=0,303 - 0,0447SiO₂ - 0,972 TiO₂ + 0,008Al₂O₃ - 0,267Fe₂O₃ + 0,208 FeO₃,082MnO + 0,14MgO + 0,195CaO + 0,719Na₂O - 0,032K₂O + 7,51P₂O₅;
 F2=43,57 - 0,421SiO₂ + 1,988TiO₂ - 0,526Al₂O₃ - 0,551Fe₂O₃ - 1,61FeO + 2,72MnO + 0,881 MgO - 0,907CaO - 0,177Na₂O - 1,84K₂O + 7,244P₂O₅;
 F3=30,638TiO₂/Al₂O₃ - 12,54Fe₂O₃/Al₂O₃ + 7,329MgO/Al₂O₃ + 12,031NaO/Al₂O₃ + 35,402K₂O/Al₂O₃ - 6,382;
 F4= 56,5TiO₂/Al₂O₃ - 10,897 Fe₂O₃/Al₂O₃ + 30,875 MgO/Al₂O₃ - 5,404 Na₂O/Al₂O₃ + 11,112 K₂O/Al₂O₃ - 3,89, молекулярные количества.

ГМ=Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO + MnO)/SiO₂; HKM=N₂O + K₂O/Al₂O₃; TM=TiO₂/Al₂O₃; ФМ=(Fe₂O₃ + FeO + MnO + MgO)/SiO₂; массовые проценты.

CIA=100Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O + K₂O), ICV=(Fe₂O₃ + K₂O + Na₂O + Ca₂O + Mg₂O=TiO₂)/Al₂O₃;
 CIW=100Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O), молекулярные количества.

HKM=Na₂O + K₂O/Al₂O₃; TM=TiO₂/Al₂O₃; ФМ=(Fe₂O₃ + FeO + MnO + MgO)/SiO₂; массовые проценты.

ГМ=Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO + MnO)/SiO₂; HKM=N₂O + K₂O/Al₂O₃; TM=TiO₂/Al₂O₃; ФМ=(Fe₂O₃ + FeO + MnO + MgO)/SiO₂; массовые проценты.

CIA=100Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O + K₂O), ICV=(Fe₂O₃ + K₂O + Na₂O + Ca₂O + Mg₂O=TiO₂)/Al₂O₃;
 CIW=100Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O), молекулярные количества.

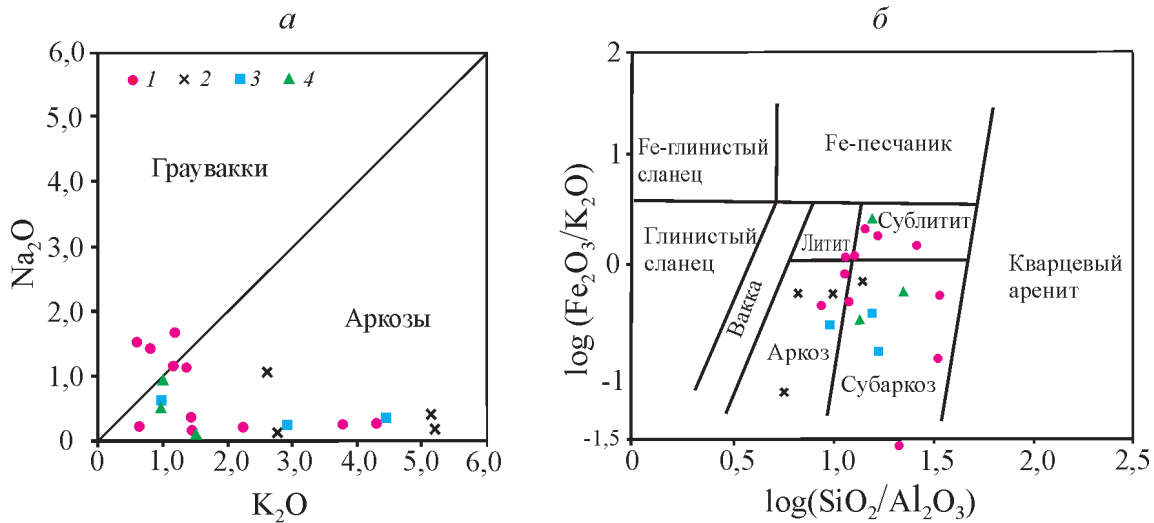


Рис. 3. Классификационные диаграммы: а — K_2O-Na_2O (по [2]); б — $\log(Fe_2O_3/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$ (по [11]); точки 1–4 соответствуют номерам разрезов на рис. 1; 1 — р. Енганэ-Яха; 2 — руч. Изъяч-Вож; 3 — западный склон кряжа Енганэ-Пэ; 4 — руч. Камы-Шор

тов, свидетельствует о различной степени седиментационной зрелости осадка даже в пределах одного разреза, в точках, расположенных на расстоянии нескольких метров (рис. 5).

По показателю нормированной щелочности (значению НКМ), превышающему пороговое значение 0,3, почти все точки расположены в области пород, в составе которых, по мнению Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [6], присутствует неизменённый калиевый полевой шпат. Фемический модуль (ФМ), отражающий интенсивность выветривания и сохранения вещества, для кварцитопесчаников составляет 0,03–0,04. Повышенными (0,07–0,1) значениями этого модуля отличаются три образца песчаников с минимальным содержанием SiO_2 , из разрезов на западном склоне кряжа Енганэ-Пэ (табл. 2). Для большинства изученных образцов значения титанового модуля (ТМ) выше характерных для этого стратиграфического интервала показателей, что обусловлено, очевидно, особенностями петрофонада.

По значениям CIA [14] — индекса химического выветривания, показателя климата в области размыва, песчаники делятся на практически невыветрелые, сформировавшиеся в условиях холодного климата (CIA 27–49) и слабоизменённые (CIA 51–65). Один образец песчаника (обр. 27), для которого этот показатель составляет 74, сложен материалом средней степени выветрелости (табл. 2). Этот образец отличается максимальным содержанием SiO_2 и минимальными содержаниями остальных оксидов, что позволяет предположить увеличение доли рециклированных обломков. Индекс выветривания CIW [10] также соответствует низкой степени разложения исходных пород (табл. 2). Исключение составили три образца (обр. 9-1, 10 и 11) содержащие крайне незначительные количе-

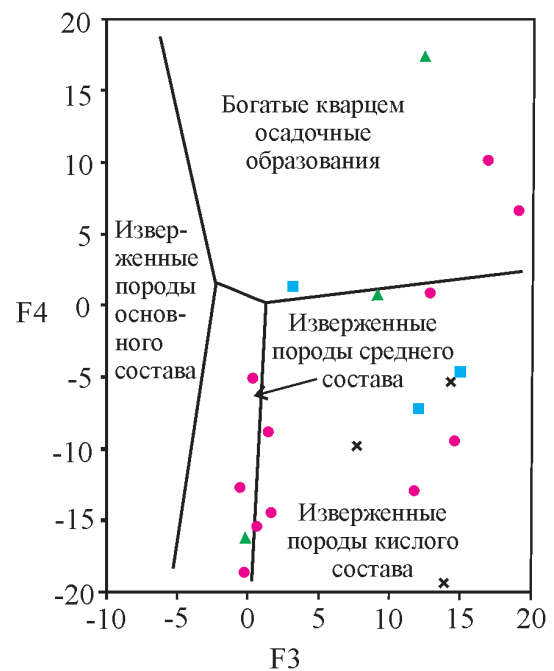


Рис. 4. Диаграмма F3–F4 (по [15])

ства Na_2O (табл. 1), что, однако, объясняется не степенью выветривания вулканокластического обломочного материала, а его калиевой спецификацией. Индекс изменения состава ICSV [9] для изученных образцов превышает или близок к пороговому значению 1,0, что характеризует породы как достаточно однородные, содержащие большое количество неглинистых силикаов (табл. 2). Различия в составе обломочного материала и степени химической переработки первичного осадка иллюстрирует диаграмма ICSV–CIA [12], на которой фигуративные точки занимают промежуточное положение между линиями, соответствующими составам размываемых основных и кислых пород (рис. 6).

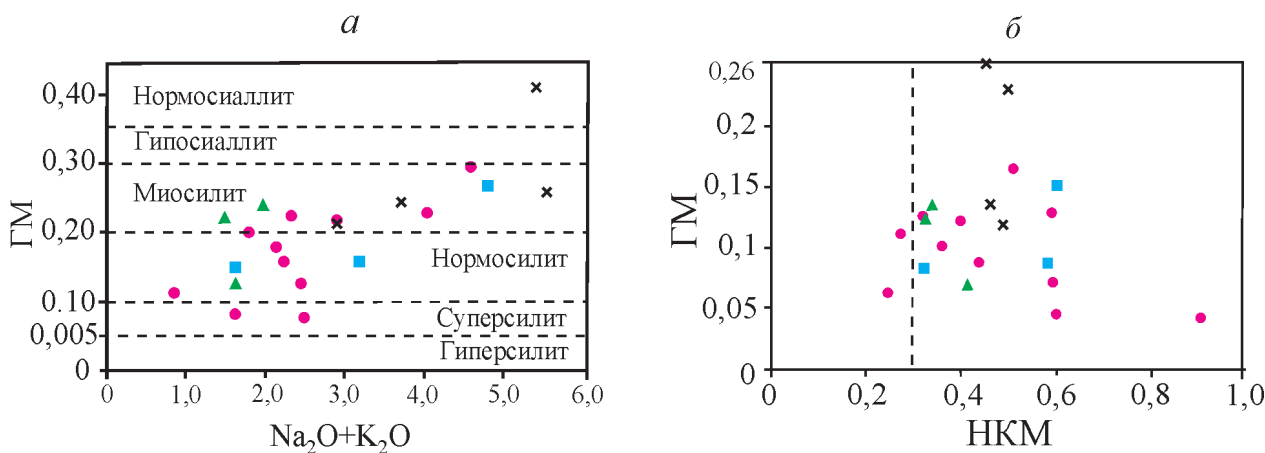


Рис. 5. Модульные диаграммы: а — $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ -ГМ; б — НКМ-ГМ, по [6]

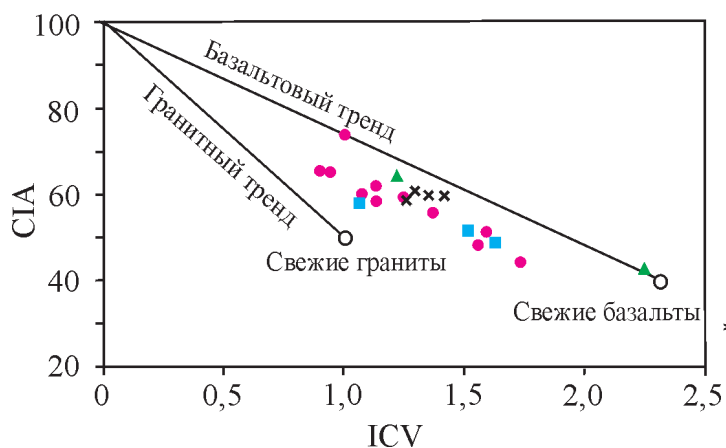


Рис. 6. Положение точек составов песчаников манитаньрдской серии на диаграмме ICV–CIA, по [12]

Отношения Fe/Mn — индикатора положения осадков на фациальном профиле бассейна [3], отражающее увеличение поглощения марганца осадочными образованиями из морской воды с глубиной, в нашем случае отражает в первую очередь железистость слабо выветрелого обломочного материала (табл. 1, 2). Значения титанового модуля $(\text{Fe}+\text{Mn})/\text{Ti}$ [5], предполагающего железо и марганец как эксгальтивные компоненты, в интервале 1,04—10,88 и алюминиевого модуля $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ [8] в интервале 0,53—0,78 соответствуют породам, не содержащим примесь эксгальтивного материала (табл. 2).

Для наибольшей достоверности при реконструкции палеогеодинамической обстановки накопления песчаниковых толщ манитаньрдской серии использованы три диаграммы, построенные на соотношениях различных породообразующих оксидов [7, 13, 15]. На всех диаграммах фигуративные точки песчаников манитаньрдской серии попали в поля пассивных континентальных окраин.

Обсуждение результатов

Анализ полученных данных позволяет предположить участие в формировании состава обломочного материала позднекембрийско-раннеордовикских вулканогенных образований и метаморфических пород фундамента древнего континента. По данным А. А. Соболевой и соавторов [4], проводивших U/Pb-датирование детритных цирконов песчаников в разрезе на руч. Правый Изъя-Вож, в песчаниках манитаньрдской серии более половины от общего количества составляют позднекембрийско-раннеордовикские цирконы, возраст которых близок к возрасту самих песчаников, наличие которых связано с проявлениями магматической активности одновременно с осадконакоплением. Выявленные петрохимические особенности свидетельствуют о преобладании в обломочной части песчаников слабо измененных обломков вулканитов, среди которых могут быть как подстилающие допалеозойские, так и сингенетичные вулканиты леквожского комплекса. На это указывают, в частности, значения показателя нормиро-

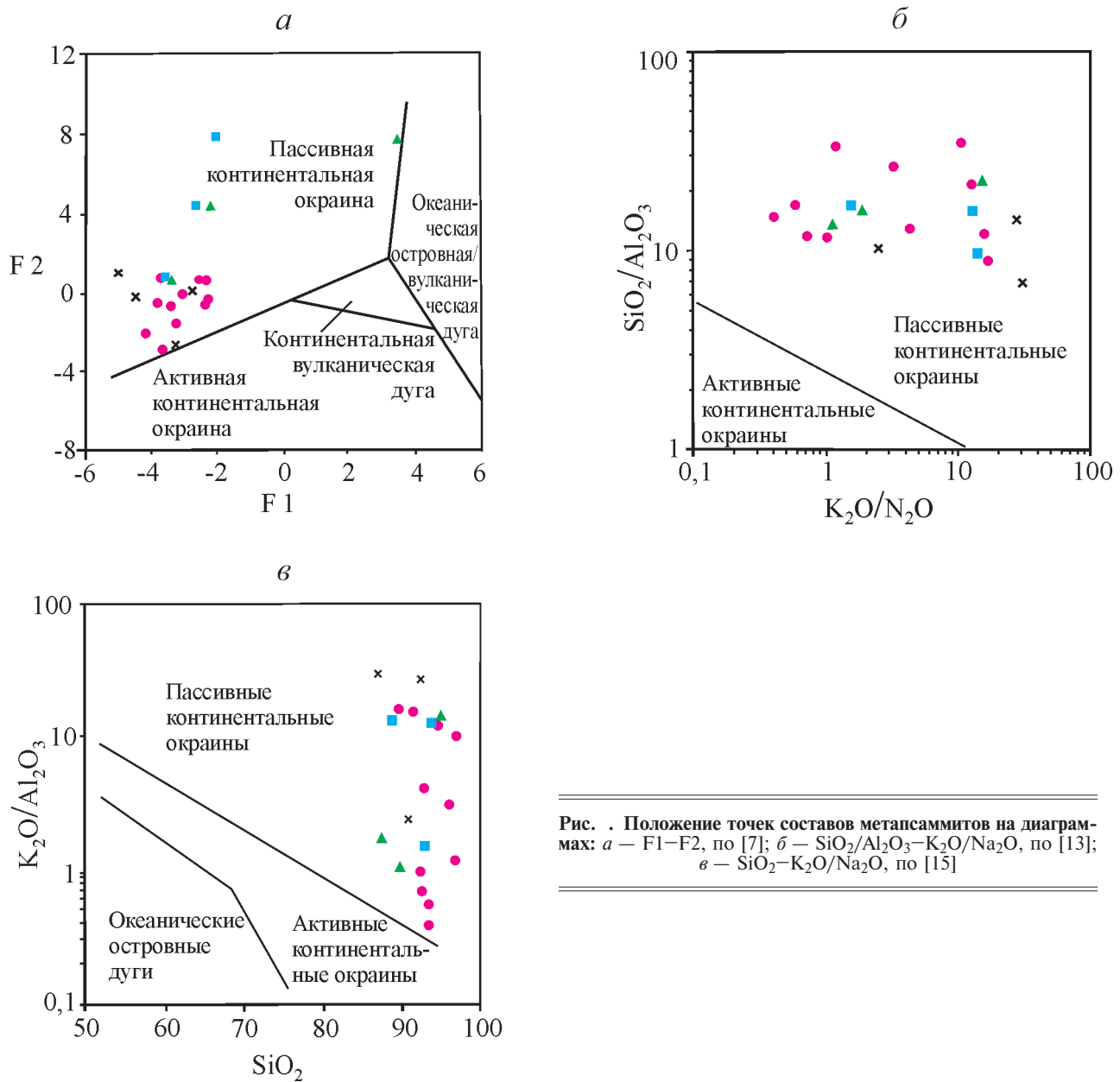


Рис. . Положение точек составов метапсаммитов на диаграммах: *а* — F1–F2, по [7]; *б* — SiO₂/Al₂O₃–K₂O/Na₂O, по [13]; *в* — SiO₂–K₂O/Na₂O, по [15]

ванной щелочности (НКМ), предполагающие присутствие в породах слабо измененного вулканокластического материала.

Обращает на себя внимание присутствие в разрезе на западном склоне кряжа Енганэ-Пэ (рис. 1, разрез 3) несвойственных нижнеордовикским песчаникам разнообразных округлых текстур (рис. 2 *а–г*). Они приурочены к слою мощностью около 0,5 м, выше и ниже которого не встречаются, а в цементе содержащих эти образования песчаников присутствует карбонат, что является признаком углубления бассейна седиментации. В восточной части кряжа Енганэ-Пэ подобных текстур в песчаниках не обнаружено, карбонатный цемент для них не характерен, количество СаО существенно ниже и связано, по всей видимости, только с присутствием содержащих кальций силикатов — ам-

фибола, диопсида и титанита. Кроме того, в толще песчаников здесь регулярно встречаются линзы гравелитов. Можно предположить, что береговая линия во время накопления песчаников располагалась к востоку от кряжа Енганэ-Пэ, соответственно в западной части условия были более глубоководными и тиховодными. Отрицательные формы в песчанике возникли в результате выщелачивания на участках со значительной долей карбонатной составляющей в цементе.

Наиболее вероятно образование округлых текстур на этапе диагенеза — синхронно или сразу после осаднения произошло событие, заставившее нелитифицированный осадок слипнуться в круглые комочки вокруг, возможно, бактериальных, «затравок», с разностью потенциалов на поверхности микрочастиц. Этим событием могло

быть изменившее рН среды, поступление раствора, сопровождавшее подводное излияние базальтоидов в южной части кряжа Енганэ-Пэ.

Полученные данные по вещественному составу песчаников манитаньрдской серии позволяют провести их сравнение с золотоносными песчаниками из базального горизонта обеизской свиты хр. Малдыньрд [1], сходными по гранулометрическим характеристикам, текстурным особенностям и положению в разрезе. Манитаньрдские аркозовые, субаркозовые и лититовые песчаники существенно отличаются от железистых песчаников обеизской свиты большей гидролизатностью и щелочностью, в том числе нормированной, по значениям которой, в соответствии с классификацией Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [6], относятся к отложениям, содержащим неизменённые полевые шпаты. Для манитаньрдских песчаников характерны более низкие значения показателей степени сортировки и выветривания, определяющиеся холодными климатическими условиями.

Заключение

Песчаники, залегающие в основании палеозойского разреза кряжа Енганэ-Пэ, представлены аркозовыми, субаркозовыми и сублититовыми разностями с переменными содержаниями кварца, полевых шпатов и хлорита. Терригенный материал имеет низкую степень седиментационной зрелости и в значительной степени представлен обломками слабо изменённых полевых шпатов, источниками которых являлись близкие по времени об-

разования магматические породы. По мере удаления от интрузивных образований отмечается постепенное увеличение доли продуктов размыва пород фундамента. Состав источников и область питания не испытывали значительных изменений за время накопления отложений. Песчаники практически не содержат рециклированных обломков и переотложенного материала коры выветривания. Псаммитовая толща образовалась в холодном климате в условиях пассивной континентальной окраины в относительно мелководном бассейне. Накопление осадка на континентальном шельфе сопровождалось эпизодом вулканической активности, связанной с эпиконтинентальным рифтогенезом. В удаленном от тела калиевых базальтоидов разрезе этот временной интервал маркируется горизонтом песчаников, содержащих необычные округлые образования и текстуры.

Описанные особенности манитаньрдских песчаников не позволяют ожидать обнаружения в них осадочной золоторудной минерализации. Вероятность появления древних россыпей возрастает по направлению к береговой линии и зависит главным образом от локальных фашиально-динамических условий, связанных с палеорельефом фундамента.

Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 18-9-5-42 «Ресурсно-индустриальная и инфраструктурная трансформация как фактор развития Воркутинской опорной зоны Российской Арктики».

ЛИТЕРАТУРА

1. Никулова Н.Ю., Козырева И.В. Литохимические особенности и условия формирования нижнепалеозойских песчаников севера Урала // Отечественная геология. 2016. № 4. С. 46–55.
2. Петтидзон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. Москва: Мир, 1976. 536 с.
3. Розен О.М., Журавлев Д.З., Ляпунов С.М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печерской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.
4. Соболева А.А., Кузнецов Н.Б., Миллер Э.Л., Удортина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. Первые результаты U/Pb-датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уралид (Полярный Урал) // Докл. РАН. 2012. Т. 445. № 5. С. 570–576.
5. Страхов Н. М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
7. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627.
8. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm Contrib. Geol. 1973. V. 27. No. 2. P. 148–243.
9. Cox R., Lowe D.R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // J. Sed. Res. 1995. V. 65. P. 1–12.
10. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering // Sed. Geol. 1988. V. 55. No. 3/4. P. 319–322.
11. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date. J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
12. Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea // Sedimentary Geology. 2002. V. 149. P. 219–235.
13. Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Geol. Soc. Spec. Publs. L., 1982. V. 10. P. 551–561.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
15. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // The Journal of Geology. 1986, V. 94. № 5. P. 635–650.

REFERENSES

1. Nikulova N.Yu., Kozyreva I.V. Litohimicheskie osobennosti i usloviya formirovaniya nizhnepaleozoiskih peschanikov severa Urala [Lithochemical features and conditions of formation of the Lower Paleozoic sandstones of the north of the Urals], *Otechestvennaya Geologiya* — [National Geology], 2016, no. 4, pp. 46–55. (in Russian).
2. Pettidzhon F., Potter P., Siver R. *Peski i peschaniki — Sands and sandstones*. M., Mir Publ., 1976, 536 p. (in Russian).

3. Rozen O.M., Zhuravlev D.Z., Lyapunov S.M. Geohimicheskie issledovaniya osadochnykh otlozhenii Timano-Pecherskoi provintsii [Geochemical Studies of Sedimentary Deposits in the Timan-Pechora Province]. *Razvedka i ohrana nedr* — [Prospect and protection of mineral resources], 1994, no. 1, pp. 18–21. (in Russian).
4. Soboleva A.A., Kuznetsov N.B., Miller E.L., Udoratina O.V., Gerels Dzh., Romanyuk T.V. Pervye rezul'taty U/PB-datirovaniya detritnykh tsirkonov iz bazal'nykh gorizontov uralid (Polyarnyi Ural) [First results of U/PB dating of detrital zircons from the Uralide basal horizons (Polar Urals)]. *Doklady Earth Sciences*, 2012, v. 445, no. 5, pp. 570–576. (in Russian).
5. Strahov N.M. *Problemy geohimii sovremennogo okeanskogo litogeneza — Problems of geochemistry of modern oceanic lithogenesis*, M., Nauka Publ., 1976, 300 p. (in Russian).
6. Yudovich Y.E., Ketris M.P. *Osnovy litohimii* — [Basics lithochemistry]. St. Petersburg, Science Publ., 2000, 479 p. (in Russian).
7. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones, *The Journal of Geology*, 1983, v. 91, no. 6, pp. 611–627.
8. Boström K. The origin and fate of ferromanganous active ridge sediments, *Stockholm Contrib. Geol.* 1973, v. 27, no. 2, pp. 148–243.
9. Cox R., Lowe D.R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review of sediment composition on a regional scale: a conceptual review, *Journal of Sedimentary Research*, 1995, v. 65, pp. 1–12.
10. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering, *Sedimentary Geology*, 1988, v. 55, no 3/4, pp. 319–322.
11. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data, *Journal of Sedimentary Petrology*, 1988, v. 58, pp. 820–829.
12. Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea, *Sedimentary Geology*, 2002, v. 149, pp. 219–235.
13. Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins, *Geological Society of London, Special Publication*, 1982, v. 10, pp. 551–561.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 1982, v. 299, pp. 715–717.
15. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio, *The Journal of Geology*, 1986, v. 94, no. 5, pp. 635–650.

УДК 551.25, 552.163, 552.51, 549.41

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ КВАРЦА В ЖИЛАХ СРЕДИ ПЕСЧАНИКОВ ЗОНЫ МЕТАГЕНЕЗА (КУЛАРСКИЙ РАЙОН, ЯКУТИЯ)

О.А. СУСТАВОВ

Уральский государственный горный университет
30, Куйбышева ул., г. Екатеринбург 620144, Россия
e-mail: olsustavov@mail.ru

Рассмотрена перекристаллизация выпячивания (ПВ) в деформированных кварцевых жилах, залегающих в нижнетриасовых песчаниках зоны метagenеза в северо-западной части Куларского района, Якутия. ПВ характеризуется протекающим при кристаллопластической деформации кварца образованием зубчатых границ индивидов, к которым приурочены зёрна перекристаллизации, размеры которых (0,01–0,02 мм) отвечают размерам зубцов на границах индивидов. Своим образованием столь мелкие зёрна перекристаллизации могут фиксировать пиковые коровые напряжения, возникающие при деформации континентальной коры вблизи хрупкопластического перехода. Внутри индивидов ПВ сопровождается перекристаллизацией вдоль микросдвигов и полос деформации при ведущей роли прогрессивного вращения субзёрен. ПВ в жильном кварце происходит при формировании во вмещающих песчаниках кливажа растворения под давлением, в связи с чем сочетание кливажа растворения под давлением в песчаниках зоны метagenеза и ПВ в жильном кварце можно рассматривать в качестве структурного парагенеза.

К л ю ч е в ы е с л о в а : кварцевые жилы; жильный кварц; динамическая перекристаллизация; перекристаллизация выпячивания; песчаники; метagenез; растворение под давлением; Якутия.

DYNAMIC RECRYSTALLIZATION OF QUARTZ IN VEINS IN SANDSTONES OF METAGENESIS ZONE (KULAR DISTRICT, YAKUTIA)

O.A. SUSTAVOV

Ural State Mining University
30, Kuibysheva street, Yekaterinburg 620144, Russia
e-mail: olsustavov@mail.ru

Bulging recrystallization (BR) has been considered in the deformed quartz veins in the lower Triassic sandstones of the metagenesis zone in the North-Western part of the Kular district, Yakutia. BR is characterized by the formation of sutured boundaries of individuals during the crystalloplastic deformation of quartz. To these boundaries, the recrystallization grains are confined, the size of which (in this case, 0,01–0,02 mm) corresponds to the size of the teeth at the boundaries of individuals. Such fine recrystallization grains can fix with their formation the peak crustal stresses

arising up during deformation of the continental crust near the brittle-plastic transition. Inside the individuals, BR is accompanied by recrystallization along the microshears and deformation bands with the leading role of progressive rotation of subgrains. BR in vein quartz occurs during the formation of the pressure solution cleavage in the host sandstones, and therefore the combination of the pressure solution cleavage in the sandstones of the metagenesis zone and BR in vein quartz can be considered as structural paragenesis.

К e y w o r d s: quartz veins; vein quartz; dynamic recrystallization; bulging recrystallization; Yakutia; sandstones; metagenesis; pressure solution.

В континентальной земной коре ниже хрупко-пластического перехода преобладающим механизмом пластического течения является дислокационная ползучесть [20]. Происходящие в ходе этого процесса изменения размера, формы и ориентировки зёрен минералов, движимые энергией деформации в форме дислокаций, называются «динамической перекристаллизацией» [11, 14, 15, 18, 19, 23, 24]. Последней отчасти соответствует выделяемая Д.П. Григорьевым [2] «рекристаллизация» [4, 6], которую данный автор определяет как «процесс перекристаллизации, ... заключающийся в росте за счёт деформированных кристаллов новых стабильных кристаллов с недеформированной решеткой» [2, с. 190].

В настоящее время выделяется три механизма динамической перекристаллизации: «выпячивание» (bulging) в результате «медленной» [24] миграции границ зёрен, вращение субзёрен и «быстрая» [24] миграция границ зёрен [14, 16, 18–20, 23]. Перекристаллизация выпячивания характеризуется образованием мелкозубчатых («сутурных» [11]) границ исходных кристаллов и преобразованием отдельных зубцов («выпячиваний») в мелкие зёрна перекристаллизации (ЗП). При перекристаллизации вращением субзёрен исходный кварц подвергается полигонизации с возникновением субзёрен, которые при последующих поворотах преобразуются в ЗП. «Быстрая» миграция границ исходных зёрен приводит к образованию крупных ЗП, имеющих неправильную форму и сложную конфигурацию границ. Микроструктуры кварца, образованные тремя данными механизмами перекристаллизации, соответствуют трём режимам экспериментальной дислокационной ползучести кварца, последовательно сменяющихся при повышении температуры и снижении дифференциальных напряжений [14, 18, 19, 23].

В природном кварце динамическая перекристаллизация наиболее детально изучена в зонах милонитизации [6, 12, 17–19, 23]. В других геологических обстановках, в том числе в жилах, залегающих среди пород зоны метагенеза (анхиметаморфизма), подвергшихся слабым низкотемпературным преобразованиям, особенности протекания динамической перекристаллизации кварца охарактеризованы слабее [15, 22]. При этом мало внимания уделяется соотношениям между динамической перекристаллизацией кварца в жилах и характером деформации вмещающих пород. Рассмотрению этих вопросов и посвящена настоящая статья.

Район исследований

Материал для изучения отобран в северной части Верхояно-Колымской орогенной области (рис. 1), в северо-западном секторе Кулар-Нерского турбидитового террейна (сланцевого пояса), сложенном терригенно-осадочными породами верхнепермского и триасового возрастов. Данный сектор Кулар-Нерского террейна характеризуется северо-восточным простирием складчатых структур, среди которых имеется несколько крупных кулисообразно расположенных опрокинутых антиклиналей и синклиналей, разделенных надвигами и взбросами северо-западной вергентности [5]. Ядра антиклиналей сложены верхнепермскими породами, а разделяющие их синклинали (синклинальные зоны напряженной линейной складчатости) — породами триаса. Формирование складчатых структур происходило в поздней юре—раннем мелу. Автором рассмотрены кварцевые жилы, залегающие в песчаниках нижнего триаса, образующих вместе с алевропелитовыми породами того же возраста сложнодислоцированную синклиналь, расположенную к западу от крупной лежачей Улахан-Сисской антиклинали, сопряженной с ограничивающим эту антиклиналь с северо-запада надвигом. Мелкие складчатые структуры в породах триаса представляют собой складки изгиба со скольжением и разбиты кливажем, ориентированным параллельно осевым плоскостям складок.

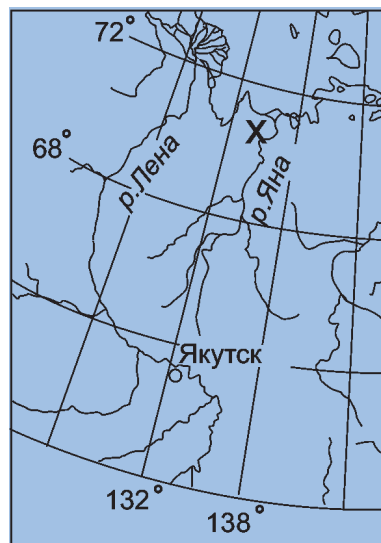


Рис. 1. Географическое положение района (x)

Мощность отложений, эродированных после мезозойской складчатости в зоне развития нижнетриасовых отложений, составляет 6–8 км [3].

Методы исследования

Пробы для исследования отобраны в районе ручьев Бургуат и Йэкийээс при минералогическом картировании кварцевых жил на западном фланге приуроченного к Улахан-Сисской антиклинали одноимённого золоторудного района [8]. Дальнейшее изучение микроструктур кварцевых жил и вмещающих их песчаников производилось преимущественно в перпендикулярных кливажу песчаников шлифах, ориентированных вдоль и поперёк линейности на поверхностях кливажа.

Результаты изучения

Песчаники нижнего триаса — это преимущественно мелкозернистые кварцевые граувакки (обломочные компоненты песчаной размерности представлены, в порядке возрастания содержания плагиоклазом, кварцем и обломками пород; последние составляют 40–50% от общего количества обломков). Цемент песчаников серицит-хлоритовый, с резким преобладанием хлорита. Породы разбиты поверхностями кливажа, на которых нередко заметна слабо выраженная линейность.

По наблюдениям в шлифах кливажные поверхности (кливажные зоны [1]) в песчаниках имеют толщину в несколько тысячных долей миллиметра; вдоль них отмечены хлорит, серицит и углеродистое вещество. Кливажные поверхности разделяют полоски породы (микролитоны [1]), толщина которых преимущественно превышает размеры обломочных зёрен (рис. 2, *a, б*). Под микроскопом кливаж сходен с «межзерновым» [1] (continuous disjunctive [13]) кливажем, но характеризуется превышающими размер обломочных зёрен расстояниями между кливажными поверхностями и меньшей толщиной последних. В сечениях породы,

ориентированных вдоль линейности, кливажные поверхности более ровные (рис. 2, *б*), чем в сечениях, ориентированных поперёк линейности (рис. 2, *a*).

Как видно из рис. 2, *a, б*, кливажные поверхности срезают края обломочных зёрен песчаников. В шлифах, ориентированных параллельно или под небольшими углами к поверхностям кливажа, отмечается [8] «шиповидное» [10] (поперечное к границам обломочных зёрен) расположение чешуек хлорита и серицита. В шлифах, ориентированных поперёк поверхностей кливажа, параллельно линейности на поверхностях кливажа, между обломочными зёрнами иногда наблюдаются хлоритовые и серицит-хлоритовые «бороды» [1, 16] — агрегаты чешуек хлорита или хлорита и серицита, ориентированные вдоль направления кливажа (рис. 2, *в*).

Внутри микролитонов нередко отмечается зародышевая кристаллизационная сланцеватость [1] (slaty cleavage [13]) — новообразованные чешуйки серицита (до 0,005 мм в поперечнике), ориентированные вдоль направления кливажа; они могут быть приурочены к границам обломочных зёрен, к кливажным поверхностям, а также появляются внутри присутствующих в песчаниках обломков пород. В краевых частях некоторых обломков кварца наблюдаются отдельные зёрна перекристаллизации («рекристаллизационно-грануляционного бластеза» [10]) размерами 0,010–0,015 мм.

В песчаниках залегают кварцевые жилы мощностью до нескольких десятков сантиметров, ориентированные под разными углами к кливажу. Кварц в жилах молочно-белый, параллельно-шестоватой, аллотриоморфной и гипидиоморфной структур, с размером индивидов до 2 см в поперечнике. Встречаются как недеформированные, так и в разной степени изогнутые, сплюснутые, расчленённые на отдельные надвинутые один на другой фрагменты и будинированные жилы (рис. 3, *a*). Предметом рассмотрения в настоящей статье являются деформированные жилы. Они могут частично пересекаться поверхностями кливажа и сме-

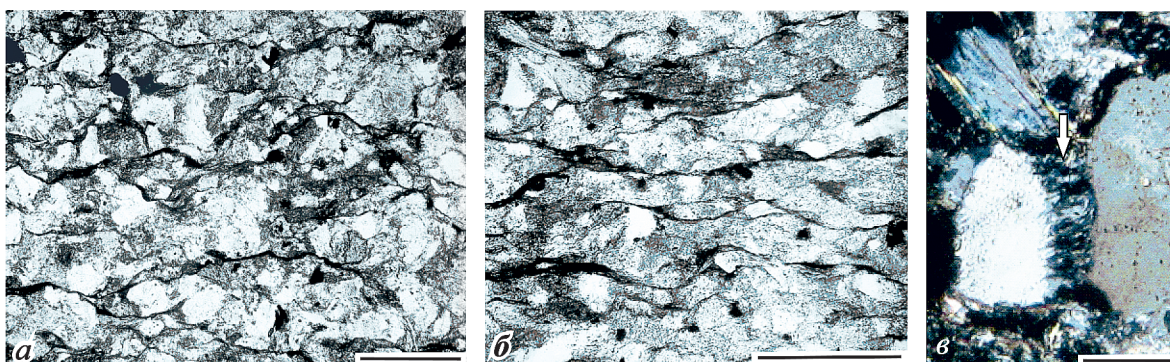


Рис. 2. Кливаж в песчаниках: *a, б* — общий вид, *в* — хлоритовая «борода» (стрелка) между раздвинутыми вдоль направления кливажа обломками кварца (*a, в* — сечения перпендикулярно кливажу и линейности, *б* — сечение перпендикулярно кливажу и параллельно линейности; *a, б* — без анализатора, *в* — с анализатором; масштабный отрезок: *a, б* — 0,4 мм, *в* — 0,1 мм)

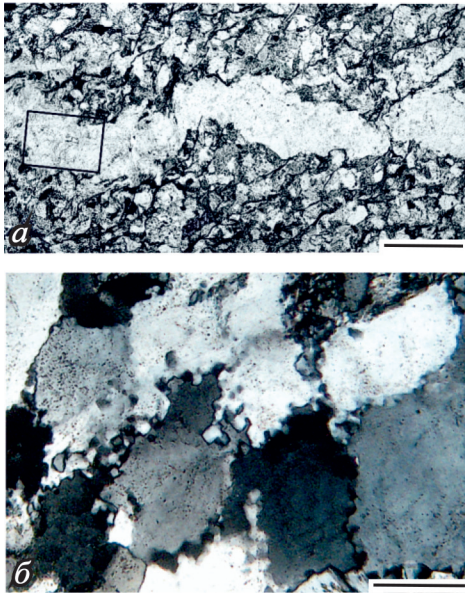


Рис. 3. Деформированная кварцевая жила в песчаниках (*а* — без анализатора; рамка — положение рисунка *б*) и перекристаллизация вдоль границ индивидов кварца в данной жиле (*б* — с анализатором); сечение перпендикулярно кливажу и линейности песчаников; масштабный отрезок: *а* — 0,5 мм, *б* — 0,1 мм

щаться вдоль этих поверхностей; встречаются жилы, смятые в неправильные складки, осевые поверхности которых совпадают с направлением кливажа.

Кварц в жилах деформирован. Преобладающий механизм деформации — внутрикристаллическая пластичность (кристаллопластическая деформация) [11]. Её проявлениями являются волнистое угасание, деформационные ламели, полосы деформации, сплющивание индивидов (при сильной деформации), полигонизация (отмечается в единичных случаях) и динамическая перекристаллизация. Индивиды деформированного кварца часто имеют зубчатые («сутурные» [11]) границы, к которым приурочены зёрна перекристаллизации размерами 0,01—0,02 мм (рис. 3, *б*). Указанные размеры отвечают размерам зубцов на границах индивидов — зёрна перекристаллизации представля-

ют собой отдельные обособившиеся зубцы или их фрагменты (рис. 4). Такой перекристаллизованный кварц обычно составляет до 5% от общего объёма кварца в жиле.

Перекристаллизованный кварц иногда пересекается поверхностями кливажа, переходящими в жилы из вмещающих песчаников, а также мелкими чешуйками серицита, параллельными развитой в песчаниках зародышевой кристаллизационной сланцеватости. На некоторых границах индивидов жильного кварца зубцы (в том числе с приуроченными к ним зёрнами перекристаллизации) вытянуты параллельно кливажу вмещающих жилу песчаников (рис. 5, *б* — левая граница центрального индивида). Вытянутость зубцов параллельно кливажу подобна ориентировке чешуек хлорита и серицита в «бородах» между обломочными зёрнами в песчаниках (рис. 2, *в*). Как и «борода» в песчаниках, полосы вытянутых параллельно кливажу зубцов с отдельными зёрнами перекристаллизации могут быть приурочены не только к границам индивидов, но и к поперечным по отношению к кливажу трещинам в индивидах кварца [7].

Зёрна перекристаллизации наблюдаются не только по границам, но и внутри достаточно крупных индивидов жильного кварца. Так, они могут быть приурочены к иногда имеющимся в индивидах участкам развития мелких слабо разориентированных между собой субзёрен. При этом размеры образующихся внутри индивидов зёрен перекристаллизации (ЗП) и субзёрен сходны между собой и подобны размеру ЗП на границах индивидов (0,01—0,02 мм); по степени разориентировки относительно матрицы от субзёрен к ЗП, находящимся внутри индивидов, наблюдаются постепенные переходы.

Внутри индивидов перекристаллизация также отмечается вдоль микросдвигов (микротрещин скалывания) [6] и субромбоэдрических полос деформации [4] (shear bands [17, 18, 25]). Как и в предыдущем случае, размеры ЗП, приуроченных к микросдвигам и полосам деформации, подобны

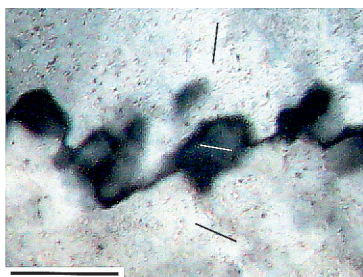


Рис. 4. Зёрна перекристаллизации (тёмное) вдоль зубчатой («сутурной») границы (чёрная) между индивидами кварца (штрихи — направления *c*-оси кварца); с анализатором; масштабный отрезок 0,05 мм

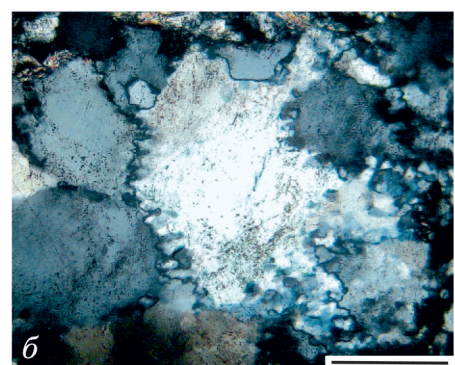
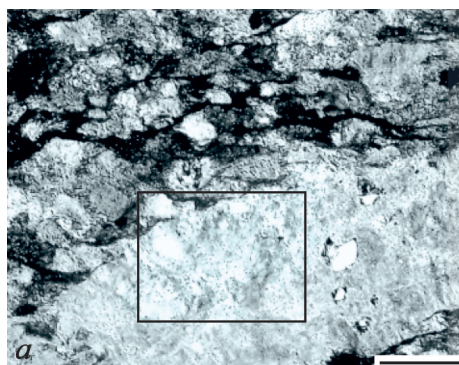


Рис. 5. Кварцевая жила в песчаниках (*а* — без анализатора; черное — кливажные поверхности; рамка — положение рисунка *б*) и перекристаллизация вдоль границ индивидов кварца в этой жиле (*б* — с анализатором); сечение перпендикулярно кливажу и параллельно линейности песчаников; масштабный отрезок: *а* — 0,4 мм, *б* — 0,2 мм

размерам ЗП, располагающимся вдоль границ индивидов. Вблизи микросдвигов, по которым происходит перекристаллизация, в матрице имеются субзёрна, близкие по величине и форме к ЗП; по степени разориентировки относительно матрицы наблюдаются постепенные переходы от этих субзёрен к ЗП (при этом разориентировка c -осей ЗП относительно c -оси матрицы несколько больше, чем у наиболее сильно переориентированных субзёрен).

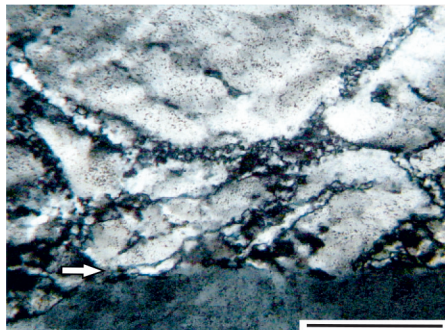


Рис. 6. Контакт (стрелка) между двумя сплюснутыми индивидами кварца; в верхнем индивиде — перекристаллизация вдоль полос деформации; с анализатором; масштабный отрезок 0,2 мм

При сильной кристаллопластической деформации (с образованием значительного волнистого угасания) индивиды жильного кварца часто подвергаются сплющиванию и имеют в шлифах полосовидную форму сечений. Вдоль границ таких индивидов перекристаллизация обычно проявлена относительно слабо — продольные границы таких индивидов преимущественно ровные, лишь с единичными зубчатыми и подвергшимися перекристаллизации участками. Более интенсивно перекристаллизация развита внутри таких индивидов вдоль микросдвигов и полос деформации (рис. 6). При толщине полос деформации до 0,05 мм зёрна перекристаллизации размерами 0,01—0,02 мм образуют полосы шириной в 1—2 зерна в наиболее переориентированных осевых частях полос деформации; ориентировка c -осей кварца в зёрнах перекристаллизации повторяет ориентировку c -оси осевых частей полос деформации [4, 25].

Обсуждение результатов

Как следует из микроструктур нижнетриасовых песчаников, ведущим механизмом деформации песчаников и образования в них кливажа является растворение под давлением [1, 13]. Оно особенно интенсивно на границах между обломочными зёрнами и кливажными поверхностями, где проявляется в виде срезания кливажными поверхностями боковых частей обломочных зёрен (рис. 2). В результате растворения под давлением происходит сплющивание породы перпендикулярно направ-

лению кливажа, а также сокращение её объёма в связи с выносом растворённых компонентов [13].

При сплющивании имеет место некоторое растяжение породы параллельно плоскости кливажа [13]. Об этом, в частности, свидетельствует присутствие между отдельными обломочными зёрнами хлоритовых и серицит-хлоритовых «бород» (рис. 2, з), возникающих при раздвигании обломочных зёрен вдоль направления кливажа [1, 7]. Наиболее интенсивное развитие «бород» в сечениях, ориентированных вдоль линейности, указывает на более сильное растяжение породы в этом направлении.

Степень постдиагенетических изменений рассматриваемых песчаников отвечает стадии метазенеза [8], что подтверждается [10] наличием в песчаниках «шиповидных» структур и «рекристаллизационно-грануляционного бластеза» обломочного кварца. Согласно [10], метазенез (анхиметаморфизм) происходит в тектонически дислоцированных терригенно-осадочных породах при температурах 200—350°C. В песчаниках на стадии метазенеза происходит разрушение терригенного биотита, окварцевание или альбитизация полевых шпатов, зарождение кливажа и сланцеватости; глинистые породы при этом превращаются в филлитовидные сланцы с достаточно высокой степенью кристалличности слюдястых минералов [10].

В деформированных кварцевых жилах, залегающих среди рассматриваемых песчаников, вдоль границ индивидов кварца наблюдается перекристаллизация выпячивания. Этому соответствует [14, 18, 19, 23] наличие зубчатых («сутурных» [11]) границ индивидов, к которым приурочены зёрна перекристаллизации, размеры которых (0,01—0,02 мм) отвечают размерам зубцов на границах (рис. 3, б; 4; 5, б). Согласно отмеченным выше авторам, перекристаллизация выпячивания происходит путём «медленной» [24] локализованной миграции границ зёрен с образованием отдельных зубцов («выпячиваний») в тех местах границ между зёрнами, где плотность дислокаций по разные стороны от границы неодинакова (принадлежащий одному индивиду участок кварца с низкой плотностью дислокаций локально разрастается за счёт участка с высокой плотностью дислокаций в смежном индивиде). Эти зубцы затем преобразуются в зёрна перекристаллизации, представляющие собой отдельные обособившиеся зубцы или фрагменты этих зубцов [14, 18, 19, 23].

Перекристаллизация выпячивания — это динамическая (синхронная с деформацией, синтетектоническая [1]) перекристаллизация, свойственная наиболее низкотемпературному режиму дислокационной ползучести кварца [14, 18, 23]. Согласно [15, 18, 23], размеры зёрен перекристаллизации, подобные наблюдающимся в данном случае (0,01—0,02 мм), свойственны кварцу, деформированному в условиях низов зеленосланцевой фации

метаморфизма при температурах 280—400°C (часть этого интервала температур соответствует отмеченным выше температурам метатенеза [10] песчаников).

Перекристаллизация выпячивания происходит при кристаллопластической деформации, протекающей в условиях высоких дифференциальных напряжений [14, 18, 23]. По данным [16, 22], столь мелкие зёрна перекристаллизации (0,01—0,02 мм) фиксируют своим образованием пиковые коровые напряжения, достигающие нескольких сотен мегапаскалей, которые возникают в континентальной коре вблизи хрупкопластического перехода.

Дислокационная ползучесть (и связанная с ней динамическая перекристаллизация, отмечаемая в рассматриваемых кварцевых жилах) происходит при более высоких дифференциальных напряжениях, чем растворение под давлением (являющееся главным механизмом деформации вмещающих песчаников) [21]. Таким образом, в данном случае в деформируемых кварцевых жилах эти напряжения были более высокими, чем во вмещающих песчаниках. Концентрация напряжений в кварцевых жилах обусловлена тем, что последние обладают в подобных условиях большей вязкостью (компетентностью), чем кливажируемые песчаники [22].

Охарактеризованная выше перекристаллизация внутри индивидов кварца (в участках развития субзёрен, вдоль микросдвигов и субромбоэдрических полос деформации), происходящая одновременно с перекристаллизацией выпячивания по границам индивидов, в литературе отмечается достаточно часто [17, 18, 23]. При этом указывается, что зёрна перекристаллизации (ЗП), образующиеся внутри индивидов, обычно имеют, как и в нашем случае, такие же размеры, как ЗП, возникающие по границам тех же индивидов. Согласно [18, 23], образование ЗП внутри индивидов также обусловлено перекристаллизацией выпячивания. Но в рассматриваемом нами кварце главное значение при перекристаллизации, происходящей внутри индивидов жильного кварца, имеет, по-видимому, вращение субзёрен.

При образовании ЗП в участках развития субзёрен внутри индивидов на это указывает [18] сходство размеров ЗП с размерами субзёрен и постепенные переходы от субзёрен к ЗП по степени разориентировки относительно матрицы. При перекристаллизации вдоль микросдвигов в исходном кварце также образуются субзёрна, близкие по величине и форме к ЗП, и наблюдаются постепенные переходы от субзёрен к ЗП по степени разориентировки относительно матрицы (подобная перекристаллизация вдоль микросдвигов, связанная с вращением субзёрен, описана в [6]). Контроль кристаллографической ориентировки ЗП в полосах деформации вмещающим индивидом также связывают с вращением субзёрен при перекристаллизации вдоль полос деформации [17].

Таким образом, в данном случае в жильном кварце вдоль границ индивидов происходит перекристаллизация выпячивания, обусловленная локальной миграцией границ, а внутри индивидов главную роль при образовании зерен перекристаллизации играет вращение субзёрен. Этот вывод отвечает данным [18, 19] о возможности вращения субзёрен в условиях перекристаллизации выпячивания.

Рассматриваемые кварцевые жилы подвергались деформации при формировании кливажа во вмещающих песчаниках. На это указывают пересечения жил кливажными поверхностями, смещения жил вдоль этих поверхностей, случаи смятия жил в складки, осевые поверхности которых совпадают с направлением кливажа. В процессе формирования кливажа в песчаниках происходила и перекристаллизация жильного кварца. Это подтверждается наличием пересечений перекристаллизованного кварца отдельными кливажными поверхностями, а также чешуйками серицита, аналогичными таковым, образующим кристаллизационную сланцеватость, зарождающуюся в песчаниках при образовании кливажа.

Параллельная кливажу песчаников вытянутость зубцов (с отдельными зёрнами перекристаллизации) на некоторых границах индивидов жильного кварца (рис. 5, б) является, по-видимому, результатом того, что в данном случае образование зубцов и зёрен перекристаллизации сочеталось с процессами растворения—переотложения кварца при раздвигании смежных индивидов кварца (подобном раздвиганию обломочных зёрен в песчаниках при образовании «бород», рис. 2, в). Сочетание перекристаллизации выпячивания с микроструктурами растворения под давлением («с частичным растворением кварцевых зёрен и с кварц-слюдистыми волокнами в тенях давления») отмечено также в [12]. Приведённые данные подтверждают связь перекристаллизации выпячивания в жильном кварце с образованием кливажа в песчаниках и позволяют заключить, что наблюдаемое сочетание кливажа растворения под давлением в песчаниках зоны метатенеза и перекристаллизации выпячивания в жильном кварце можно рассматривать в качестве структурного парагенеза [1].

Выводы

1. В рассматриваемой зоне метатенеза ведущим механизмом деформации песчаников и образования в них кливажа является растворение под давлением, приводящее к сплющиванию породы перпендикулярно направлению кливажа и сопровождаемое ориентированным преимущественно вдоль линейности некоторым растяжением породы параллельно плоскости кливажа.

2. В деформированных кварцевых жилах, залегающих среди подвергшихся метагенезу песчаников, происходит связанная с локальной миграцией границ индивидов кварца перекристаллизация выпячивания, приводящая к образованию зубчатых границ индивидов и располагающихся вдоль них зёрен перекристаллизации размерами 0,01—0,02 мм.

3. Перекристаллизация внутри индивидов кварца (в участках развития субзёрен, вдоль микросдвигов и субромбоэдрических полос деформации), сопровождающая ПВ, приуроченную к границам индивидов, происходит при участии прогрессивного вращения субзёрен.

4. При раздвигании смежных индивидов кварца вдоль направления кливажа ПВ в деформируемых жилах сочетается с процессами растворения—переоотложения кварца.

5. Столь мелкие зёрна ПВ своим образованием могут фиксировать пиковые коровые напряжения, возникающие при деформации континентальной коры вблизи хрупкопластического перехода.

6. Поскольку ПВ в жильном кварце происходит при формировании во вмещающих песчаниках кливажа растворения под давлением, сочетание данного кливажа в песчаниках зоны метагенеза и ПВ в жильном кварце можно рассматривать в качестве структурного парагенеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 2005. 496 с.
2. Григорьев Д.П. Онтогенез минералов. Львов: Изд.-во Львов. ун-та, 1961. 284 с.
3. Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозойд. М.: Наука, 1979. 218 с.
4. Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якшин В.И. Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск: Средне-Уральское книжн. изд-во, 1988. 272 с.
5. Парфенов Л.М., Оксман В.С., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Третьяков Ф.Ф., Трунилина В.А., Деикуненко А.В. Коллаж террейнов Верхояно-Колымской орогенной области // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова и М.И. Кузьмина. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 199—254.
6. Сустанов О.А. Рекристаллизация жильного кварца в зоне Мурзинского сдвига (Средний Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1987. № 2. С. 91—99.
7. Сустанов О.А. Перекристаллизация породообразующего и жильного кварца при формировании кливажа в березитизированных песчаниках золото-сурьмяного месторождения Сарылах (Якутия) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1997. № 5. С. 51—57.
8. Трунилина В.А., Коробицын А.В., Сергеенко А.И. Распределение золота в изверженных и осадочных породах хр. Кулар // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975. С. 236—259.
9. Фридовский В.Ю. Куларская металлогеническая зона: метаморфогенные Au кварцевые месторождения // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова и М.И. Кузьмина. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 350—353.
10. Япаскурт О.В. Аспекты теории постседиментационного литогенеза // Литосфера. 2005. № 3. С. 3—30.
11. Blenkinsop T. Deformation Microstructures and Mechanisms in Minerals and Rocks. Kluwer Academic Publishers, 2002. 150 p.
12. Dunlap W. J., Hirth G., Teissier C. Thermomechanical evolution of a ductile duplex // Tectonics. 1997. Vol. 16. N 6. P. 983—1000.
13. Fossen H. Structural Geology. Cambridge: University Press, 2010. 463 p.
14. Hirth G., Tullis J. Dislocation creep regimes in quartz aggregates // Jour. Struct. Geol. 1992. Vol. 14. N 2. P. 145—159.
15. Kidder S., Avouac J.-P., Chan Y.-C. Application of titanium-in-quartz thermobarometry to greenschist facies veins and recrystallized quartzites in the Hsuehshan range, Taiwan // Solid Earth. 2013. N 4. P. 1—21. DOI:10.5194/se-4-1-2013.
16. Kidder S., Hirth G., Avouac J.-P., Behr W. The influence of stress history on the grain size and microstructure of experimentally deformed quartzite // Jour. Struct. Geol. 2016. Vol. 83. P. 194—206.
17. Menegon L., Pennacchioni G., Heilbronner R., Pittarel L. Evolution of quartz microstructure and c-axis crystallographic preferred orientation within ductile deformed granulites (Arolla unit, Western Alps) // Jour. Struct. Geol. 2008. Vol. 30. P. 1332—1347. DOI:10.1016/j.jsg.2008.07.007.
18. Stipp M., Stunitz H., Heilbronner R., Schmid S.M. The eastern Tonale fault zone: a «natural laboratory» for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700°C // Jour. Struct. Geol. 2002. Vol. 24. P. 1861—1884.
19. Stipp M., Kunze K. Dynamic recrystallization near the brittle-plastic transition in naturally and experimentally deformed quartz aggregates // Tectonophysics. 2008. Vol. 448. P. 77—97. DOI:10.1016/j.tecto.2007.11.041.
20. Stipp M., Tullis J., Scherwath M., Behrmann J.H. A new perspective on paleopiezometry: Dynamically recrystallized grain size distributions indicate mechanism changes // Geology. 2010. Vol. 38. P. 759—762. DOI: 10.1130/G31162.1.
21. Takeshita T., Hara I. c-Axis fabrics and microstructures in a recrystallized quartz vein deformed under fluid-rich greenschist conditions // Jour. Struct. Geol. 1998. Vol. 20. N 4. P. 417—431.
22. Trepmann C. A., Stockhert B. Microfabric of folded quartz veins in metagreywackes: dislocation creep and subgrain rotation at high stress // Jour. metamorp. Geol. 2009. Vol. 27. P. 555—570. DOI:10.1111/j.1525-1314.2009.00842.x.
23. Tullis J. Deformation of Granitic Rocks: Experimental Studies and Natural Examples // Reviews Mineral. Geochem. 2002. Vol. 51. C. 51—95.
24. Urai J.L., Means W.D., Lister G.S. Dynamic recrystallization of minerals // Geophys. Monograph. Amer. Geophys. Union. 1986. Vol. 36. P. 161—199.
25. Van Daalen M., Heilbronner R., Kunze K. Orientation analysis of localized shear deformation in quartz fibres at the brittle—ductile transition // Tectonophysics. 1999. P. 303. P. 83—107.

REFERENCES

1. Goncharov M.A., Talickij V.G., Frolova N.S. *Vvedenie v tektonofiziku* — [Introduction to Tectonophysics]. M., KDU Publ., 2005, 496 p. (In Russian).
2. Grigor'ev D.P. *Ontogeniya mineralov* — [Ontogeny of minerals]. L'vov: Publ. L'vov. un-ta, 1961, 284 p. (In Russian).
3. Gusev G.S. *Skladchatye struktury i razlomyy Verkhoyano-Kolymskoi sistemy mezozoid* — [Folded structures and faults of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoid system]. M., Nauka Publ., 1979, 218 p. (In Russian).
4. Emlin Je.F., Sinkevich G.A., Jakshin V.I. *Zhil'nyi kvarts Urala v nauke i tekhnike* — [The vein quartz of the Urals in science and technology]. Sverdlovsk, Middle-Ural, book Publ., 1988, 272 p. (In Russian).
5. Parfenov L.M., Oxman V.S., Prokop'ev A.V., Timofeev V.F., Tret'aykov F.F., Trunilina V.A., Deikunenko A.V. Kollash terreyinov Verkhoyano-Kolymskoi orogennoi oblasti [Collage of terreins of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic area], *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii respubliki Sakha (Yakutiya)* — [Tectonics, Geodynamics and Metallogeny of the Republic of

- Sakha (Yakutia)]. M., MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001, pp. 199–254. (In Russian).
6. Sustavov O.A. Rekrystallizatsiya zhil'nogo kvartsa v zone Murzinskogo sdviga (Srednii Ural) [Recrystallization of vein quartz in the Murzin shear zone (Middle Urals)], *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* — [Proc. AS SSSR. Ser. geol.], 1987, no. 2, pp. 91–99. (In Russian).
 7. Sustavov O.A. Perekristallizatsiya porodoobrazuyushchego i zhil'nogo kvartsa pri formirovani klivazha v berezitizirovannykh peschanikh zoloto-sur'myanogo mestorozhdeniya Sarylakh (Yakutiya) [Recrystallization of rock-forming and vein quartz during cleavage formation in berezitized sandstones of the Sarylakh gold-antimony deposit (Yakutia)], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 1997, no. 5, pp. 51–57. (In Russian).
 8. Trunilina V.A., Korobitsyn A.V., Sergeenko A.I. Raspreделение zolota v izverzhennykh i osadochnykh porodakh khr. Kular — [Distribution of gold in igneous and sedimentary rocks, Kular], *Zolotorudnye formatsii i geokhimiya zolota Verkhoyano-Chukotskoi skladchatoi oblasti* — [Gold Ore Formations and Geochemistry of Gold in the Verkhoyansk-Chukotsky Folded Region]. M., Nauka Publ., 1975, pp. 236–259. (In Russian).
 9. Fridovsky V.Yu. Kularskaya metallogenicheskaya zona: metamorfogennye Au kvartsevye mestorozhdeniya [Kular metallogenic zone: metamorphogenic Au quartz deposits], *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii respubliki Sakha (Yakutiya)* — [Tectonics, Geodynamics and Metallogeny of the Republic of Sakha (Yakutia)]. M., MAIK «Nauka/Interperiodika» Publ., 2001, pp. 350–353. (In Russian).
 10. Japaskurt O.V. Aspekty teorii postsedimentatsionnogo litogeneza [Aspects of the theory of post-sedimentary lithogenesis], *Litosfera* [Lithosphere], 2005, no. 3, pp. 3–30. (In Russian).
 11. Blenkinsop T. *Deformation Microstructures and Mechanisms in Minerals and Rocks*. Kluwer Academic Publishers, 2002, 150 p.
 12. Dunlap W. J., Hirth G., Teissier C. Thermomechanical evolution of a ductile duplex, *Tectonics*, 1997, vol. 16, no. 6, pp. 983–1000.
 13. Fossen H. *Structural Geology*. Cambridge University Press, 2010, 463 p.
 14. Hirth G., Tullis J. Dislocation creep regimes in quartz aggregates, *Jour. Struct. Geol.*, 1992, vol. 14, no. 2, pp. 145–159.
 15. Kidder S., Avouac J.-P., Chan Y.-C. Application of titanium-in-quartz thermobarometry to greenschist facies veins and recrystallized quartzites in the Hsuehshan range, Taiwan, *Solid Earth*, 2013, no. 4, pp. 1–21. DOI:10.5194/se-4-1-2013.
 16. Kidder S., Hirth G., Avouac J.-P., Behr W. The influence of stress history on the grain size and microstructure of experimentally deformed quartzite, *Jour. Struct. Geol.*, 2016, vol. 83, pp. 194–206.
 17. Menegon L., Pennacchioni G., Heilbronner R., Pittarel L. Evolution of quartz microstructure and c-axis crystallographic preferred orientation within ductile deformed granitoids (Arolla unit, Western Alps), *Jour. Struct. Geol.*, 2008, vol. 30, pp. 1332–1347. DOI:10.1016/j.jsg.2008.07.007.
 18. Stipp M., Stunitz H., Heilbronner R., Schmid S.M. The eastern Tonale fault zone: a «natural laboratory» for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 °C, *Jour. Struct. Geol.*, 2002, vol. 24, pp. 1861–1884.
 19. Stipp M., Kunze K. Dynamic recrystallization near the brittle-plastic transition in naturally and experimentally deformed quartz aggregates, *Tectonophys.*, 2008, vol. 448, pp. 77–97. DOI:10.1016/j.tecto.2007.11.041.
 20. Stipp M., Tullis J., Scherwath M., Behrmann J.H. A new perspective on paleopiezometry: Dynamically recrystallized grain size distributions indicate mechanism changes, *Geology*, 2010, vol. 38, pp. 759–762. DOI: 10.1130/G31162.1.
 21. Takeshita T., Hara I. c-Axis fabrics and microstructures in a recrystallized quartz vein deformed under fluid-rich greenschist conditions, *Jour. Struct. Geol.*, 1998, vol. 20, no. 4, pp. 417–431.
 22. Trepmann C. A., Stockhert B. Microfabric of folded quartz veins in metagreywackes: dislocation creep and subgrain rotation at high stress, *Jour. metamorp. Geol.*, 2009, vol. 27, pp. 555–570. DOI:10.1111/j.1525-1314.2009.00842.x.
 23. Tullis J. Deformation of Granitic Rocks: Experimental Studies and Natural Examples, *Reviews Mineral. Geochem.*, 2002, vol. 51, pp. 51–95.
 24. Urai J.L., Means W.D., Lister G.S. Dynamic recrystallization of minerals, *Geophys. Monograph. Amer. Geophys. Union*. 1986, vol. 36, pp. 161–199.
 25. Van Daalen M., Heilbronner R., Kunz K. Orientation analysis of localized shear deformation in quartz fibres at the brittle–ductile transition, *Tectonophys.*, 1999, vol. 303, pp. 83–107.

**ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ**

УДК 552.323.6:303.2(571.56-15)

**УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И КРИТЕРИИ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВ
(НА ПРИМЕРЕ ЫГЯТТИНСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА, ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)**

М.В. МАЛЬЦЕВ, А.В. ТОЛСТОВ, И.И. БЕРЕЖНЕВ

*Акционерная компания АЛРОСА (ПАО)
6, Ленина ул., г. Мирный 678175, Республика Саха Якутия, Россия
e-mail: tolstovav@alrosa.ru*

Основным источником добываемых алмазов в России является Якутская алмазоносная провинция (ЯАП). К настоящему времени все открытые площади в пределах перспективной Вилюйско-Мархинской зоны глубинных разломов (ВМЗ) ЯАП, являющейся минерагенической и вмещающей месторождения алмазов Мир, Интернациональная, Нюрбинская, Ботуобинская, изучены удовлетворительно. Выявление в пределах открытой части ВМЗ новых кимберлитовых полей маловероятно. При этом наличие под толщей мезокайнозойских отложений прямых признаков новых объектов указывает, что алмазоносный потенциал территории не исчерпан. Это подтвердилось открытием в 2015 г. кимберлитового тела в Слюдюкарском поле, что констатировало наличие Ыгыаттинского алмазоносного района и позволяет рассматривать перекрытые площади ВМЗ как наиболее перспективные на выявление новых месторождений. Однако поиски погребённых месторождений требуют совершенствования критериев.

Ключевые слова: кимберлиты; Вилюйско-Мархинская кимберлитоконтролирующая зона; Слюдюкарское поле; Ыгыаттинский алмазоносный район.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-41-58

**CONDITIONS OF LOCALIZATION AND CRITERIA FOR KIMBERLITES
EXPLORATION (ON THE EXAMPLE OF IGYATTA DIAMONDIFEROUS REGION,
WESTERN YAKUTIA)**

M.V. MALTSEV, A.V. TOLSTOV, I.I. BEREZHNEV

*«ALROSA JSC» (Public Company), Mirny Office
6, Lenina ul., Mirny 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Russia
tolstovav@alrosa.ru*

The main source of mined diamonds in Russia is the Yakutia diamond-bearing province (YAP). To date, all open areas within the prospective Vilyuy-Markha deep fault zone (VMZ) of the YAP, which is a mineragenetic and which hosted diamond deposits of Mir, International, Nyurbinskaya, Botuobinskaya, have been studied satisfactorily. It is unlikely to reveal new kimberlite fields within its' opened part. In this case, the presence of direct signs of new objects beneath the Mesozoic-Cenozoic strata indicates that the diamond potential of the territory is not exhausted. This was confirmed by the discovery in 2015 of a kimberlite body in the Suldyukar field, which confirmed the presence of the Igyatta diamondiferous region and allows us to view the overlapped areas of the VMZ as the most promising for discovering of the new deposits. However, the search for buried deposits requires improvement of the criteria.

Keywords: kimberlites; Vilyuy-Markha kimberlite control zone; Syldyukar field; Igyatta diamondiferous region.

Ыгыаттинский алмазоносный район характеризуется весьма сложным геологическим строением [7, 9], что резко снижает эффективность поисков и существенно повышает сроки и затраты на выявление алмазоносных месторождений. Практика геолого-разведочных работ (ГРР) показала, что при поисках на закрытых площадях, помимо минералогических признаков, необходимо привлекать другие критерии контроля кимберлитов: глубинные, структурно-тектонические, палеогеографические [3, 13]. Это обусловлено тем, что в закрытых районах ореолы индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) в морских или озёрных отложениях, имея площадной характер, зачастую являются полигенными, полихронными и не позволяют выявить надёжные векторные характеристики. Последнее не позволяет определить направление сноса и, следовательно, выход на первоисточники [2, 5].

Район работ расположен в Якутской алмазоносной провинции в междуречье рек Вилюй и Марха, в пределах Вилюйско-Мархинской зоны (ВМЗ) глубинных разломов, которую ввиду специфики следует рассматривать в ранге минерагенической [5]. К настоящему времени в её пределах выявлены и разведаны месторождения алмазов разной продуктивности (Мирнинское и Накынское кимберлитовые поля на расстоянии 315 км одно от другого) [1, 4, 9, 14, 15].

Ыгыаттинский алмазоносный район находится между ними на расстоянии 130—150 км на север от Мирнинского поля и в 150—170 км на юго-запад от Накынского. В современном структурном плане район приурочен к Сюджерской седловине, ограниченной с севера Анабарской, а с юга — Непско-Ботуобинской антеклизой, с запада и востока — Тунгуской и Вилюйской синеклизой соответственно (рис. 1). В геологическом строении района принимают участие архей-протерозойские образования кристаллического фундамента, разновозрастные отложения осадочного чехла Сибирской платформы и магматические комплексы трапповой формации [3, 11, 13]. Осадочный чехол платформы на территории рассматриваемого района слагают отложения верхнего протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. На территории района также широко развиты магматические образования (дайки, силлы, покровы, пластовые интрузии базитов) среднего палеозоя и мезозоя. Мощность чехла, вскрытая в районе работ нефтепоисковыми скважинами, варьирует от 2210 до 3900 м, закономерно увеличиваясь на северо-запад в направлении Тунгусской синеклизы.

Сюльдюкарское кимберлитовое поле расположено на региональном изгибе ВМЗ, которая в этом районе меняет свое простирание с субмеридионального на северо-восточное, в узле пересечения её с Батырской зоной разрывных нарушений. Область пересечения разломов Батырской структу-

ры с разломами ВМЗ, по аналогии с Мирнинским полем, является благоприятной для локализации кимберлитов.

В современном структурном плане кимберлитовое поле приурочено к моноклинали, осложненной в северо-западной части Хатырыкской грабен-синклинальной структурой среднепалеозойского возраста, имеющей пространственно-генетическую связь с проявлениями кимберлитового магматизма (вновь выявленное кимберлитовое тело). Грабен-синклиналь, протяженностью 14,5—17,0 км при ширине от 0,3—1,0 км в южной части до 6,5—7,0 км на севере, отчетливо прослеживается как по кровле мирнинской свиты среднего кембрия, так и на современном погребённом рельефе нижнепалеозойского цоколя (рис. 2).

По строению Хатырыкская грабен-синклиналь резко асимметрична: восточным относительно пологим бортом она сопряжена со сложно-построенной грабенообразной депрессией, характеризуется многочисленными разнонаправленными тектоническими нарушениями и проявлением кимберлитового магматизма (кимберлитовое тело Т-54). Главный разлом Хатырыкской грабен-синклинали сложен кулисообразными сбросами север — северо-восточного простирания, осложненными сопряженными малоамплитудными сдвиговыми и пликативными нарушениями. Максимальная амплитуда вертикальных смещений по сбросам достигает 100—115 м. За пределами площади этот разлом, по-видимому, не залечен среднепалеозойскими долеритами отслеживается фрагментарно лишь по геофизическим исследованиям.

Первое кимберлитовое тело среднепалеозойского возраста, выявленное при заверке магнитной аномалии Т-54, [1, 15], расположено в 8 км к востоку от осевой части Хатырыкской грабен-синклинали, в зоне её сопряжения со сложно построенной грабенообразной структурой. Кимберлитовое тело приурочено к локальной мульдообразной депрессии северо-западного простирания, осложнённой разрывным нарушением север — северо-восточного направления, которое, по всей видимости, и обусловило природу двух сопряженных кимберлитовых тел (западного и восточного). Эта особенность, характерная для кимберлитовых тел (Удачная-Западная и Удачная-Восточная и др.), может быть использована при структурных прогнозно-поисковых построениях [6, 8, 10, 12].

Выделенные оси тектонических нарушений двух направлений — северо-восточные, соосные с простиранием Хатырыкской грабен-синклинали, а также зоны Западного разлома, являющееся западным флангом Вилюйско-Мархинской рудоконтролирующей зоны глубинных разломов, и северо-западные, относящиеся к потенциально рудовмещающим разломам Батырской зоны. Присутствие на рассматриваемой площади дайкового комплекса

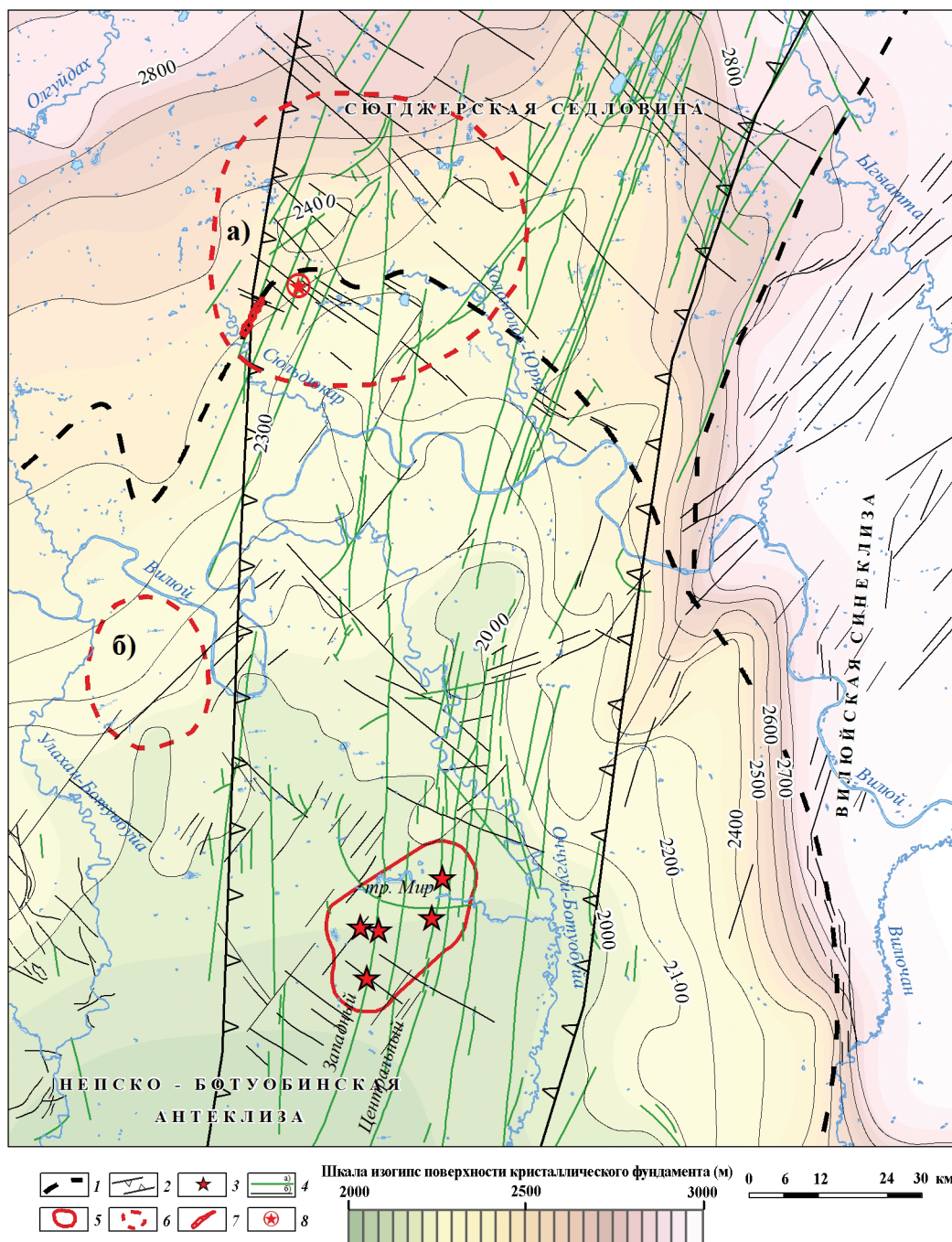


Рис. 1. Структурно-тектоническая схема исследуемой площади: 1 – контуры надпорядковых структур; 2 – контуры Вялюйско-Мархинской зоны глубинных разломов; 3 – коренные месторождения алмазов; 4 – тектонические нарушения, выраженные в магнитном поле: а – достоверные, связанные с дайками долеритов, б – предполагаемые, слабовыраженные; 5 – контур Мирнинского кимберлитового поля; 6 – прогнозируемые контуры кимберлитовых полей: а – Слюдюкарское, б – Курунг-Юряхское; 7 – контур ореола «Хатырык»; 8 – кимберлитовое тело

долеритов среднепалеозойского возраста, пространственно связанного с кимберлитовым магматизмом известных кимберлитовых полей в Западной Якутии, служит подтверждением проницаемости земной коры, а также магмоподводящего и вмещающего значения глубинных разломов [5, 6]. В целом дайки долеритов являются полноправными членами сообщества магматитов многих кимберлитовых полей, располагаясь нередко

и в непосредственной близости от них (Накынское, Мирнинское, Мерчимденское, Куойкское и др.) [3, 13].

Пересечение разнонаправленных тектонических нарушений создает систему структурных блоков, благоприятных для проявления кимберлитового магматизма. Один такой блок, по нашему мнению, ограничивает структурную позицию Слюдюкарского кимберлитового поля, в котором ранее выяв-

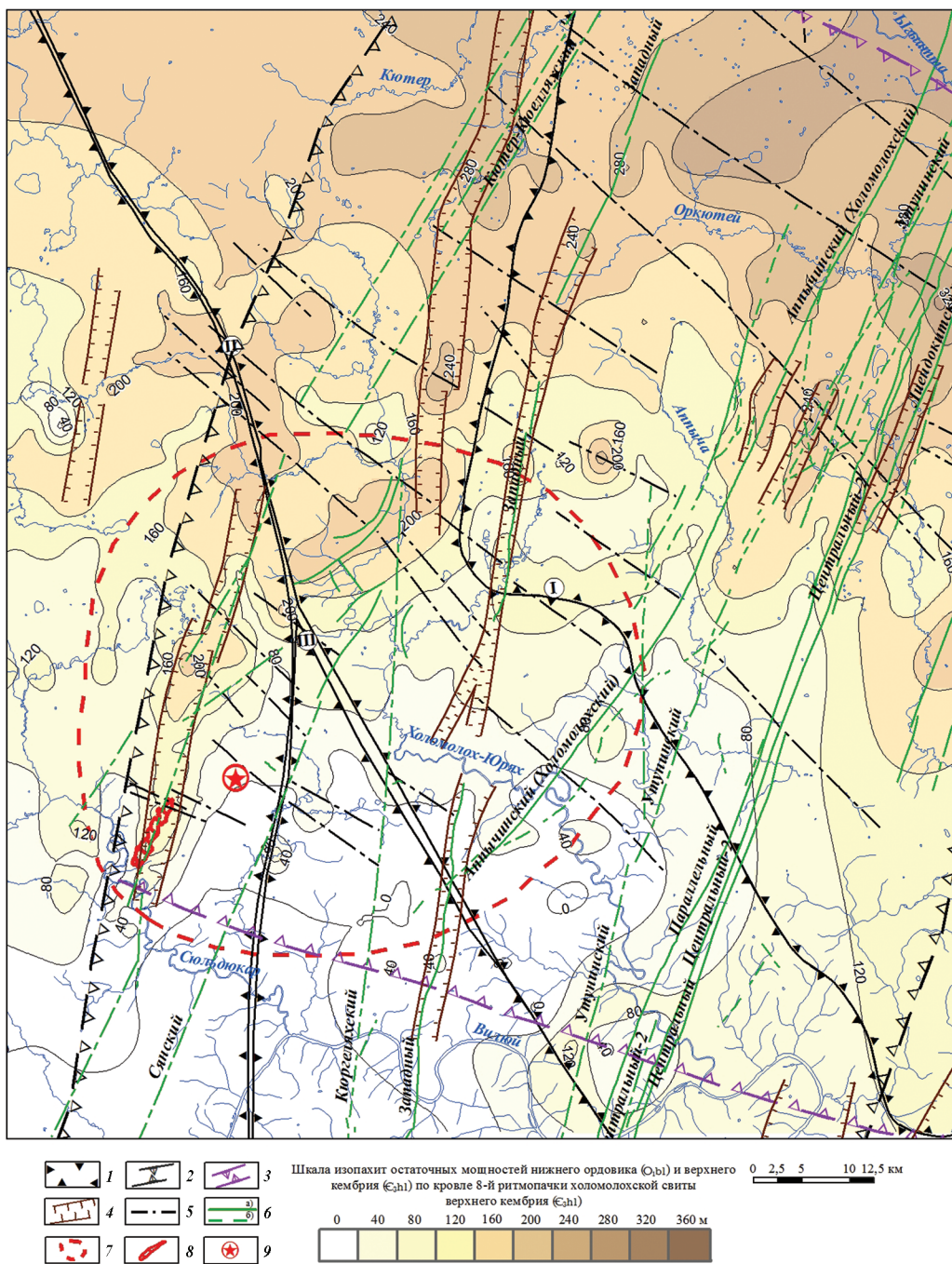


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Сюдьюкарского кимберлитового поля: 1 — кратонные блоки фундамента архейской консолидации и их номера: I — Ыгыаттинский, II — Алымджанский, III — Ботуобинский; 2 — Вилюйско-Мархинская (минерагенетическая) зона глубинных разломов, благоприятная для размещения проявлений кимберлитового магматизма; 3 — зона концентрации разломов Ыгыаттинской тектонической зоны (разломы II порядка); 4 — среднепалеозойские грабен-структуры по данным ГИС, сопряженные с даечными телами долеритов ВМЗ; 5 — разрывные нарушения северо-западного простирания, связанные с Ыгыаттинской рифтогенной тектонической зоной; 6 — оси линейных аэромагнитных аномалий, связанные: а — с дайками долеритов высокой интенсивности среднепалеозойского возраста; б — с маломощными дайками долеритов средней и низкой интенсивности среднепалеозойского возраста; 7 — Сюдьюкарское кимберлитовое поле; 8 — ореол рассеяния ИМК «Хатырык» с признаками ближнего сноса; 9 — кимберлитовое тело

лено первое кимберлитовое тело. Поверхностная и крайне недостаточная геологическая изученность кимберлитового поля не позволяет сделать выводы о кимберлитоконтролирующих и кимберлитовмещающих разрывных нарушениях. Однако первые результаты исследований показывают, что кимберлитовое тело расположено в разломе скрытого

типа, который слабо выражен в геофизических полях (магнитные, электрические, акустические) и нечётко картируется геологическими методами.

Значительная часть площади Сюдьюкарского поля по условиям поисков относится к сложным и является закрытой для поисков кимберлитовых тел (рис. 3). В перекрывающих образованиях развиты

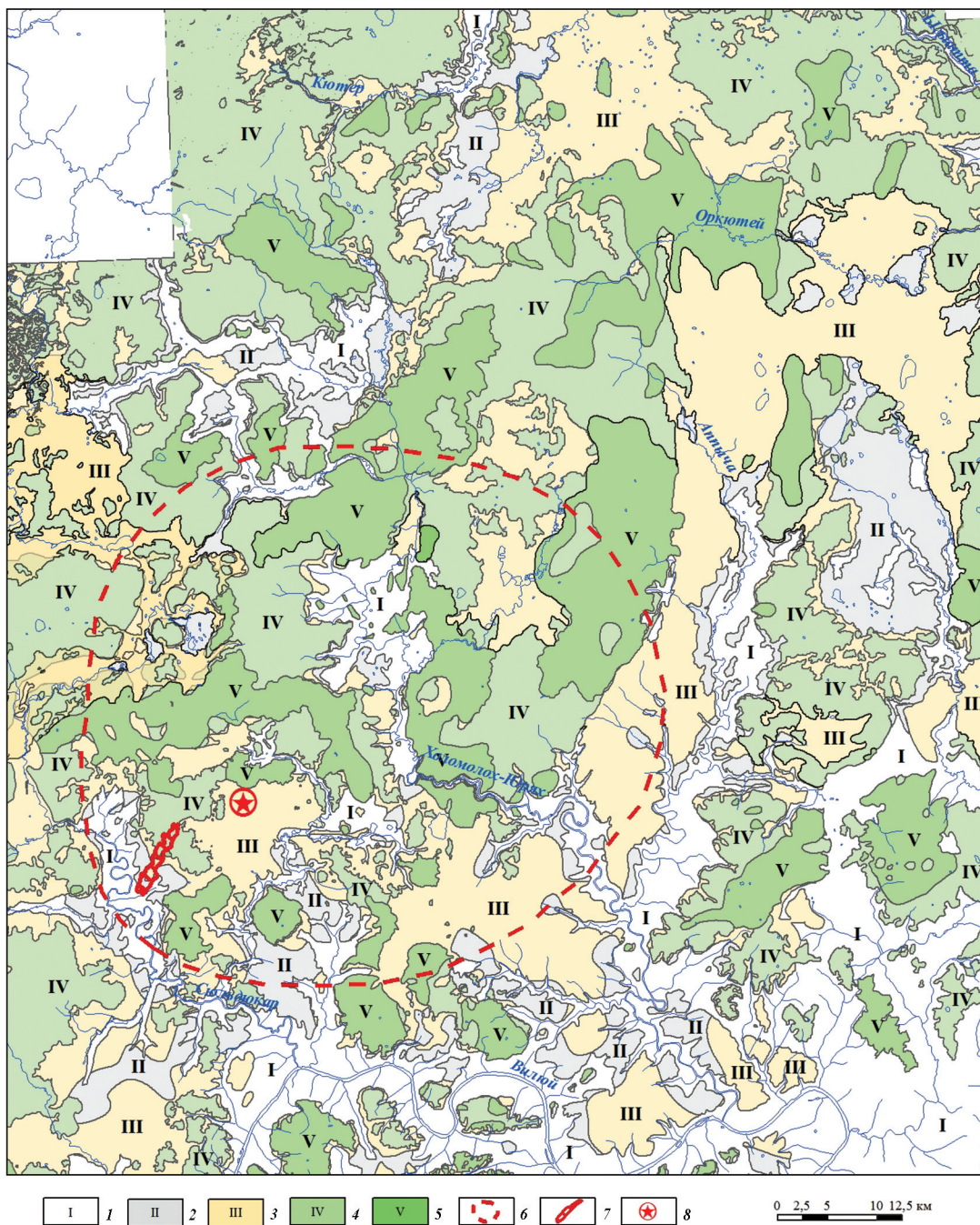


Рис. 3. Схема Сюльдюзкарского поля по условиям ведения поисков: 1–4 – типа площадей: 1 – I – с маломощными аллювиальными и делювиальными отложениями (до 3 м); 2 – II – развития терригенных отложений мощностью до 20 м; 3 – III – с мощностью от 20 до 200 м; 4 – IV – преимущественного развития пород трапповой формации, залегающих на терригенных отложениях каменноугольного, пермского и триасового возрастов; 5 – V – развития пород трапповой формации, залегающих непосредственно на карбонатных отложениях нижнего палеозоя; 6 – прогнозные контуры Сюльдюзкарского кимберлитового поля; 7 – ореол рассеяния ИМК «Хатырык»; 8 – кимберлитовое тело

терригенные аллювиальные и озёрно-болотные отложения верхнего палеозоя, перекрытые трапповыми толщами катангского комплекса триасовой системы [6, 8, 12].

Методика поисков кимберлитов базируется на опробовании базальных горизонтов перекрывающих отложений с последующей локализацией ореолов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК).

При наличии в разрезе перекрывающих морских отложений, неинформативных в поисковом плане, для опробования маломощных базальных отложений требуется большой объём керна, что значительно увеличивает объёмы бурения. Наиболее информативными для прогнозной оценки Сюльдюзкарского кимберлитового поля, по условиям накопления осадков, являются отложения

двух свит — ботубинской и ахтарандинской. Неоднократное переотложение ИМК в различных гидродинамических условиях до их окончательного захоронения делает весьма затруднительным решение обратной задачи — выхода на коренной источник по тренду зональности ореола. Однако общие закономерности разноса кимберлитовых минералов в определённой степени позволяют сделать предварительные выводы о вероятном местоположении коренного источника. При этом основную ценную поисковую информацию несёт наиболее древний ботубинский коллектор ИМК. Отложения ботубинской свиты на территории Сюддюкарского кимберлитового поля распространены в пределах Хатырыкского грабена (западная часть), в северной её части, в эрозионно-тектонической структуре восток—северо-восточного простирания и в южной части, где они выполняют эрозионную морфоструктуру, вмещающую ореол ближнего сноса ИМК «Хатырык» [5, 7].

Литолого-фациальный анализ разрезов верхнепалеозойской толщи площади Сюддюкарского кимберлитового поля позволяет выделить в её составе две группы макрофаций: континентальную и бассейновую. В континентальную группу входят делювиально-пролювиальные и аллювиальные макрофации, а также макрофация отложений, заболоченных речных и аллювиальных равнин.

Отложения ахтарандинской свиты выделены по корреляции макроциклит в разрезах верхнепалеозойских отложений. При этом макроциклита, выделенная в объёме ахтарандинской свиты, в разрезах составляет нижнюю часть разреза боруллойской свиты. По литологическому составу она соответствует отложениям заливно-лагунного слабоподвижного мелководья, с угленосными отложениями заболоченных речных долин, уменьшением их объёма в кровле и повышением песчаности разреза в целом. В разрезе отложений ахтарандинской свиты выделены макрофации подвижного приустьевое мелководья, составляющие нижнюю часть разреза свиты и слабоподвижного мелководья лагун и заливов в верхней её части.

Палеогеографические особенности формирования Сюддюкарского кимберлитового поля можно представить в следующем виде (рис. 4). В региональном плане в ботубинское время площадь представляла собой переходную область между возвышенной денудационной равниной, распространявшейся в восточном направлении, и обширной озёрно-аллювиальной равниной — к западу. Региональное направление сноса обломочного материала осуществлялось в западном и юго-западном направлениях. С юга территория была отделена возвышенной областью, препятствующей поступлению в её пределы продуктов разрушения кимберлитовых тел Мирнинского поля. В пределах рассматриваемой территории на пенепленезированной поверхности нижнепалеозойского основания сформиро-

валась линейная палеодепрессия северо-восточного простирания, приуроченная к ослабленной зоне, связанной с системой разрывных нарушений среднепалеозойского возраста.

В начале позднепермского времени произошло оживление тектонической активности, выразившееся сначала в кратковременном воздымании территории и частичном размыве отложений ботубинской свиты, а затем — в нарастании прогибаний и накоплении мощных толщ верхнепермских отложений. На начальных этапах рассматриваемая территория представляла собой фрагмент аллювиально-озёрной равнины с системой многорукавных рек и проток, разделённых областями пойм и проточных озёр. Ранние стадии развития рек имели активную гидродинамику, что вызвало частичный размыв ботубинских отложений, содержащих кимберлитовый материал и его переотложение в новообразованных ахтарандинских отложениях [5, 7]. Дальнейшие прогибания привели к захоронению ботубинского коллектора и нижнепалеозойского основания толщей песчано-глинистых отложений, формировавшихся в обстановках озёрно — аллювиальной и аллювиально-дельтовой равнин. На пенепленезированном основании образовалась линейная депрессия северо-восточного простирания — Хатырыкская грабен-синклиналь, приуроченная к системе разрывных нарушений среднепалеозойского возраста. По этой палеодолине периодическими временными потоками переносился и откладывался материал с местных водоразделов, поступление которого происходило с окружающих возвышенных частей как в результате плоскостного смыва, так и по мелким боковым ложбинам.

Отложения ближайшего сноса накапливались в конусах выноса и по бортам депрессии. Вдоль тальвеговой зоны происходило перемешивание материала и перенос его в юго-западном направлении вниз по течению с периодическим отложением грубозернистых отложений. Одновременно с кимберлитовмещающими отложения нижнепалеозойского карбонатного цоколя и залегающих на них гипергенных образований (кор выветривания) размыву подвергались и кимберлитовые тела, расположенные в пределах палеодепрессии и по ближайшей периферии. Отсутствие чёткой зональности ореола и его резкая гетерогенность по ИМК указывают на то, что размыву подвергалось не одно, а несколько кимберлитовых тел, расположенных вдоль палеодепрессии. Являясь наиболее пониженной областью, депрессия периодически затоплялась, превращаясь в озёрный водоём.

На приустьевом участке палеодолины возникал барьер, способствовавший осаждению тяжёлых частиц, в том числе продуктов разрушения кимберлитов (ИМК), а миграция зоны подпора приводила к расширению области их накопления. В

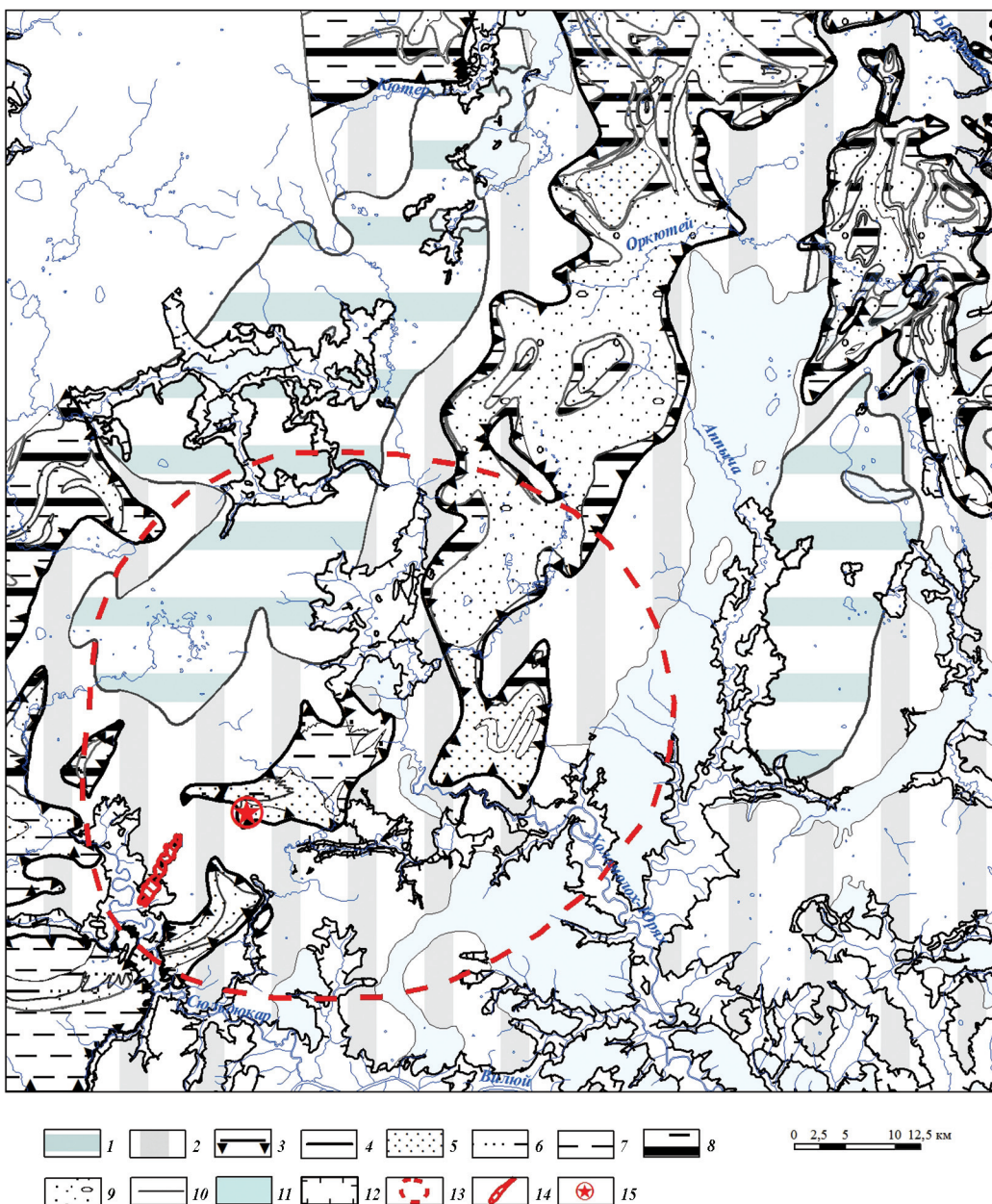


Рис. 4. Схема палеогеографических условий осадконакопления в ботубинское время Сюльдюкарского кимберлитового поля: 1 – высокие поверхности выравнивания по обобщённым границам распространения боруллойской свиты; 2 – низкие поверхности выравнивания по обобщенной площади распространения образований ахтарандинской свиты; 3 – современные границы области седиментации в ботубинское время; 4 – границы разновозрастных поверхностей выравнивания; 5 – слабоподвижное мелководье бассейна; 6 – отложения изолированного застойного бассейна; 7 – отложения застойных изолированных бассейнов – лагуны; 8 – отложения торфяных болот и зарастающих озёр и пролювия приморской низменной равнины; 9 – отложения речных дельт, выносов подвижного мелководья (бары); 10 – границы фациальных комплексов; 11 – контуры мезозойских отложений, эродировавших нижнепалеозойский цоколь; 12 – контуры открытых полей нижнепалеозойского цоколя; 13 – прогнозные контуры Сюльдюкарского кимберлитового поля; 14 – ореол рассеяния ИМК «Хатырык» с признаками ближнего сноса; 15 – кимберлитовое тело

современном плане эта область приурочена к долине р. Сюльдюкар в районе устья р. Хатырык. К настоящему времени значительная часть её размыта и сохранились лишь изолированные фрагменты. Далее в юго-западном направлении активность потоков спадала, и ИМК транспортировалась в небольших количествах. Часть их поставлялась по небольшому притоку, впадающему с северо-запада.

Анализ палеогеографических особенностей формирования Хатырыкского ореола ИМК и сравнительная характеристика изученных коллекций с кимберлитовыми минералами Сюльдюкарского кимберлитового поля делают маловероятным их непосредственную связь [9–11]. Местоположение коренного кимберлитового источника (или источников), ответственного за ореол «Хатырык», связывается с палеодолиной, выполненной отложени-

ями ботуобинской свиты, являющейся первичным коллектором кимберлитового материала, переносимого с водораздельных пространств её ближайшего северо-восточного обрамления [7].

Выводы

1. Важную роль при определении перспективности новых территорий изучении и мелкомасштабных структурных построениях играет постадийный подход, предусматривающий опережающее дистанционное зондирование в совокупности с комплексными геофизическими исследованиями. Качественная оценка проявленности критериев и признаков коренной алмазности новых территорий, в первую очередь, зависит от полноты и надежности её изученности комплексом геолого-геофизических методов, от правильности выбранной методики и разрешающей способности геофизической аппаратуры.

2. Непременным условием перспективности нового района является наличие минерагенической зоны, специализированной на алмазоносные кимберлиты и приуроченной, как правило, к системе глубинных разломов, частично или полностью «залеченных» магмой базитового состава.

3. Пересечение разнонаправленных тектонических нарушений создает систему структурных блоков, которые наиболее благоприятны для проявления кимберлитового магматизма. Таковым является структурный блок недавно выявленного Сьюльдюкарского кимберлитового поля, в котором выявлено первое тело и прогнозируются новые объекты.

4. Палеогеографические особенности формирования Хатырыкского ореола кимберлитовых минералов и их сопоставление с ИМК Сьюльдюкарского тела делают маловероятной связь его с выявленным кимберлитовым телом. Это подтверждается детальными сравнительными характеристиками изученных коллекций ИМК Хатырыкского ореола и кимберлитового тела [7, 11], вследствие чего расположение коренных источников, образовавших ореол, наиболее вероятно, приурочено к его северному и восточному обрамлениям.

5. По условиям накопления осадочных толщ наиболее информативными при поисках новых объектов в пределах Сьюльдюкарского кимберлитового поля и в целом в Ыгыаттинском алмазоносном районе являются верхнепалеозойские отложения двух свит — ботуобинской и ахтарандинской.

ЛИТЕРАТУРА

- Агашев А.М., Похиленко Н.П., Толстов А.В., Полянничко В.В., Соболев Н.В. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // Докл. РАН. 2004. Т. 399. № 1. С. 95 — 99.
- Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Тычков Н.С., Титов А.Т., Толстов А.В., Корнилова В.П., Соболев Н.В. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 120—127.
- Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонаты, кимберлиты) М.: ИМГРЭ, 2008. 537 с.
- Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г., Минин В.А. Петрохимические критерии оценки алмазности кимберлитовых месторождений Якутии // Геохимия. 2010. № 4. С. 366—376.
- Емельянов В.С., Толстов А.В., Борис Е.И. Новые данные о перспективах коренной алмазности Вилуйско-Мархинской зоны разломов // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН», 2004. С. 115—123.
- Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т. Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. 2006. № 4. С. 59—67.
- Калмыков Б.А., Пелецкий М.Н. Палеогеографические особенности формирования Хатырыкского ореола кимберлитовых минералов // Мат. науч.-практ. конф. к 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК АЛРОСА «Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов». Мирный, 1998. С. 218—221.
- Кременецкий А.А., Карась С.А., Толстов А.В. Геохимические поиски кимберлитовых трубок на закрытых территориях: проблемы и решения // Региональная геология и металлогения. 2006. № 27. С. 126—139.
- Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 3. С. 86—94.
- Мальцев М.В., Толстов А.В., Старкова Т.С., Иванов А.С. Особенности вещественного состава кимберлитов Сьюльдюкарского поля (Западная Якутия) // Наука и образование. Якутск, 2017, № 4, С. 37—43.
- Мальцев М.В., Толстов А.В. Новые перспективы коренной алмазности Вилуй-Мархинского междуречья // Мат. Всерос. научно-практ. конференции ВНК-2017. Якутск, 2017. С. 339—344.
- Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. 2008. № 4—5. С. 108—112.
- Толстов А.В. Главные рудные формации Севера Сибирской платформы. М. ИМГРЭ, 2006. 212 с.
- Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накынском поле Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 227—240.
- Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Orihashi Y., Nakai S., Serov I.V. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS. *Geochemical Journal*, 2016, T. 50, no. 5, pp. 431—438.

REFERENCES

- Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Polyanchko V.V., Sobolev N.V., New data concerning the age of the Yakutian diamondiferous province kimberlites. *Dokl. Earth Sci.* 2004, vol. 399, no. 1, pp. 95—99. (In Russian).
- Afanasiev V.P., Nikolenko E.I., Tychkov N.S., Titov A.T., Tolstov A.V., Kornilova V.P., Sobolev N.V., Mechanical wear of kimberlite indicator minerals. *Geologiya i geofizika — [Geology and geophysics]*, 2008, t. 49, no. 2, pp. 120—127 (In Russian).

3. Belov S.V., Lapin A.V., Tolstov A.V., Frolov A.A. *Platform magmatism minerageny (trapps, carbonatites, kimberlites)*. M., IMGRE Publ., 2008, 537 p. (In Russian).
4. Vasilenko V.B., Tolstov A.V., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Petrochemical criteria of diamond content of kimberlite deposits in Yakutia. *Geohimiya — [Geochemistry]*, 2010, no. 4, pp. 366–376. (In Russian).
5. Yemelyanov V.S., Tolstov A.V., Boris E.I. New data concerning native diamond content prospects of Viliuy-Markha fracture zone. *Issues of mineral deposits forecasting and prospecting techniques*, YB SU Yakutsk «SB RAS Publisher», 2004, pp. 115–123. (In Russian).
6. Ignatov P.A., Bushkov K.Y., Stein Y.I., Tolstov A.V., Yanygin Y.T., Geological and mineralogical-geochemical features of structures controlling diamond-bearing kimberlites of the Nakyn field of Yakutia. *Rudy i metally — [Ores and metals]*, 2006, no. 4, pp. 59–67. (In Russian).
7. Kalmykov B.A., Peletskiy M.N. Paleogeographical peculiarities of Khatyryk kimberlite minerals' aureole formation. *Collected papers from the Theoretical and practical conference devoted to the 30th anniversary of YSRGE CSRMP (ALROSA JSC) «Diamond deposits geology, location patterns, forecasting and prospecting techniques»*, Mirny, 1998, pp. 218–221. (In Russian).
8. Kremenetskiy A.A., Karas' S.A., Tolstov A.V. Geochemical search of kimberlite pipes in closed areas: problems and solutions. *Regionaia geologiya i metallogeniya — [Regional geology and metallogeny]*, 2006, no. 27, pp. 126–139. (In Russian).
9. Maltsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M., Starkova T.S. New kimberlite field in Yakutia and typomorphic peculiarities of minerals-indicators. *Vestnik VSU. Seria: geologiya — [Bulletin of VSU. Series: Geology]*, 2016, no. 3, pp. 86–94. (In Russian).
10. Maltsev M.V., Tolstov A.V., Starkova T.S., Ivanov A.S. Features of the kimberlite material composition in Syuldyukarskue kimberlite field (Western Yakutia). *Nauka i obrazovanie — [Science and education]*, 2017, no. 4, pp. 37–43. (In Russian).
11. Maltsev M.V., Tolstov A.V. New native diamond content prospects of Viliuy-Markha interfluvium. *Collected papers of the All-Russian theoretical and practical conference ARTPC-2017, Yakutsk*, 2017, pp. 339–344. (In Russian).
12. Simonenko V.I., Tolstov A.V., Vasilieva V.I. New approach to geochemical prospecting of kimberlites in closed areas. *Razvedka i ohrana nedr — [Exploration and protection of mineral resources]*, 2008, no. 4–5, pp. 108–112. (In Russian).
13. Tolstov A.V. *The main ore formations in the Northern Siberian platform*. M., IMGRE Publ., 2006, 212 p. (In Russian).
14. Tolstov A.V., Minin V.A., Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Razumov A.N. New body of high-diamond kimberlites in the Nakyn field of the Yakutian diamondiferous province. *Geologiya i geofizika — [Geology and geophysics]*, 2009, t. 50, no. 3, pp. 227–240. (In Russian).
15. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Orihashi Y., Nakai S., Serov I.V. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS. *Geochemical Journal*, 2016, t. 50, no. 5, pp. 431–438.

УДК 553.411(571.61)

ЭТАЛОННАЯ ПАРА ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ—РОССЫПЬ КАК ОСНОВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРИАМУРЬЕ

В.А. СТЕПАНОВ

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

В Приамурской золотоносной провинции известно около 1400 россыпей и несколько десятков месторождений рудного золота. Россыпи в значительной мере отработаны, поэтому будущее провинции видится в выявлении новых золоторудных месторождений. Показана зависимость продуктивности и состава самородного золота россыпей от крупности и формационной принадлежности россыпеобразующего золоторудного месторождения. Выявлены эталонные пары: золоторудное месторождение и образованная за счёт эрозии его верхней части россыпь. Например, золотокварцевое месторождение Токур—россыпь руч. Токур, золотосульфидно-кварцевое месторождение Пионер—россыпь р. Улунги, золотосульфидно-кварцевое месторождение Бамское—россыпь р. Чульбангро, золотополиметаллическое месторождение Березитовое—россыпь руч. Константиновского, золотосеребряное месторождение Покровское—россыпь руч. Сергеевского. Произведение прогнозирование новых золоторудных месторождений определенной формации по параметрам россыпи и составу самородного золота. Подобное выделение эталонных пар золоторудное месторождение—россыпь с последующим прогнозированием новых месторождений может быть одним из методов прогнозирования золоторудных месторождений и в других золотоносных провинциях.

Ключевые слова: провинция; месторождение; россыпь; самородное золото.

REFERENCE COUPLE GOLD DEPOSIT—PLACER AS A BASIS FOR FORECASTING OF THE NEW GOLD DEPOSITS IN AMUR RIVER BASIN

V.A. STEPANOV

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

About 1400 placers and several dozens of ore gold deposits are known in the Amur gold-bearing province. Placers are to a large degree worked out, so the future of the province is seen to be in the discovery of the new gold deposits. The paper shows the dependence of the productivity and composition of the native gold placers on the size and formational affiliation of the placer-forming gold deposit. The reference couples have been identified: the gold deposit and the placer formed due to the erosion of its' upper part. For example, the Tokur gold-quartz deposit is a channel-fill placer in Tokur stream, gold-sulphide-quartz deposit Pioneer—the placer in Ulungi river, gold-sulphide-quartz deposit Bamskoe—the placer of Chulbangro river, Berезитовоуе gold-polymetallic deposit—placer of the Konstantinovsky stream and gold-silver field Pokrovskoye—placer of Sergeevsky stream. A forecast of new gold deposits of a certain formation has been made according to the parameters of the placer and the composition of the native gold. A similar selection of reference couples of a gold deposit and a placer with the subsequent forecasting of new deposits can be one of the methods for predicting gold deposits in the other gold-bearing provinces.

Key words: province; deposit; placer; native gold.

Россыпи золота образуются за счёт разрушения одного или нескольких золоторудных месторождений и рудопроявлений россыпеобразующих формаций [9]. Для прогнозирования и поисков золоторудных месторождений наибольший интерес представляют случаи формирования россыпи за счёт одного конкретного золоторудного месторождения. В этом случае основные параметры россыпи и типоморфные особенности самородного золота зависят от формационного типа, уровня эрозионного среза и характеристик самородного золота золоторудного месторождения. Выявление эталонной пары месторождение—россыпь позволяет решать и обратную задачу — определить параметры не выявленного ранее коренного источника по основным характеристикам россыпи. Решение этой задачи представляет значительный интерес в Приамурской рудно-россыпной провинции и других, подобных ей с большим числом отработанных россыпей и неадекватно малым числом выявленных рудных объектов.

Приамурская провинция

Приамурская золотоносная провинция расположена в Монголо-Охотской ветви Тихоокеанского рудного пояса. Под провинцией понимается крупная геологическая структура, площадью около 400 тыс. км², протянувшаяся в юго-восточном направлении на расстояние около 900 км вдоль хребтов Тукурингра и Джагды на левобережье среднего течения р. Амур [7]. Эта структура представляет собой зону позднемезозойской коллизии Алдано-Становой геоблока Сибирского кратона и Амурского композитного массива (геоблока) с вклинившейся между ними Монголо-Охотской складчатой

системой. В провинции выделено девять металлогенических зон: Южно-Якутская, Северо-Становая, Джелтулакская, Янканская, Джагды-Селемджинская, Северо-Буреинская, Чагоян-Быссинская, Туранская и Восточно-Буреинская, а в их пределах 80 рудно-россыпных узлов (РРУ) (рис. 1). В рудно-россыпных узлах находится около 1400 россыпей, 35 золоторудных месторождений и несколько сотен рудопроявлений. Начиная с 1868 г. в провинции добыто около 1300 т золота, главным образом из россыпей, доля рудного золота составляет около 180 т [8].

Основная добыча рудного золота ведётся из пяти месторождений — Пионер, Албын, Березитовое, Маломыр и Покровское, запасы которых ограничены. Поэтому остро встаёт вопрос о выявлении новых крупных рудных месторождений. Одним из новых подходов к выявлению площадей, перспективных на рудное золото, может быть анализ эталонных пар: золоторудное месторождение—россыпь. Эталонная пара представляет собой систему, состоящую из двух сопряженных элементов — конкретного золоторудного месторождения и сформированной за счёт эродирования его верхней части россыпи. Параметры россыпи, типоморфные особенности самородного золота и минералов-спутников зависят от объёма и состава руд месторождения. Следовательно, по основным особенностям россыпи с учётом геологического строения площади можно решить и обратную задачу — определить тип и параметры ранее невыявленного коренного источника.

Эталонные пары

При исследовании закономерностей размещения золотого оруденения и россыпей в 80 рудно-россыпных узлах Приамурской провинции нами

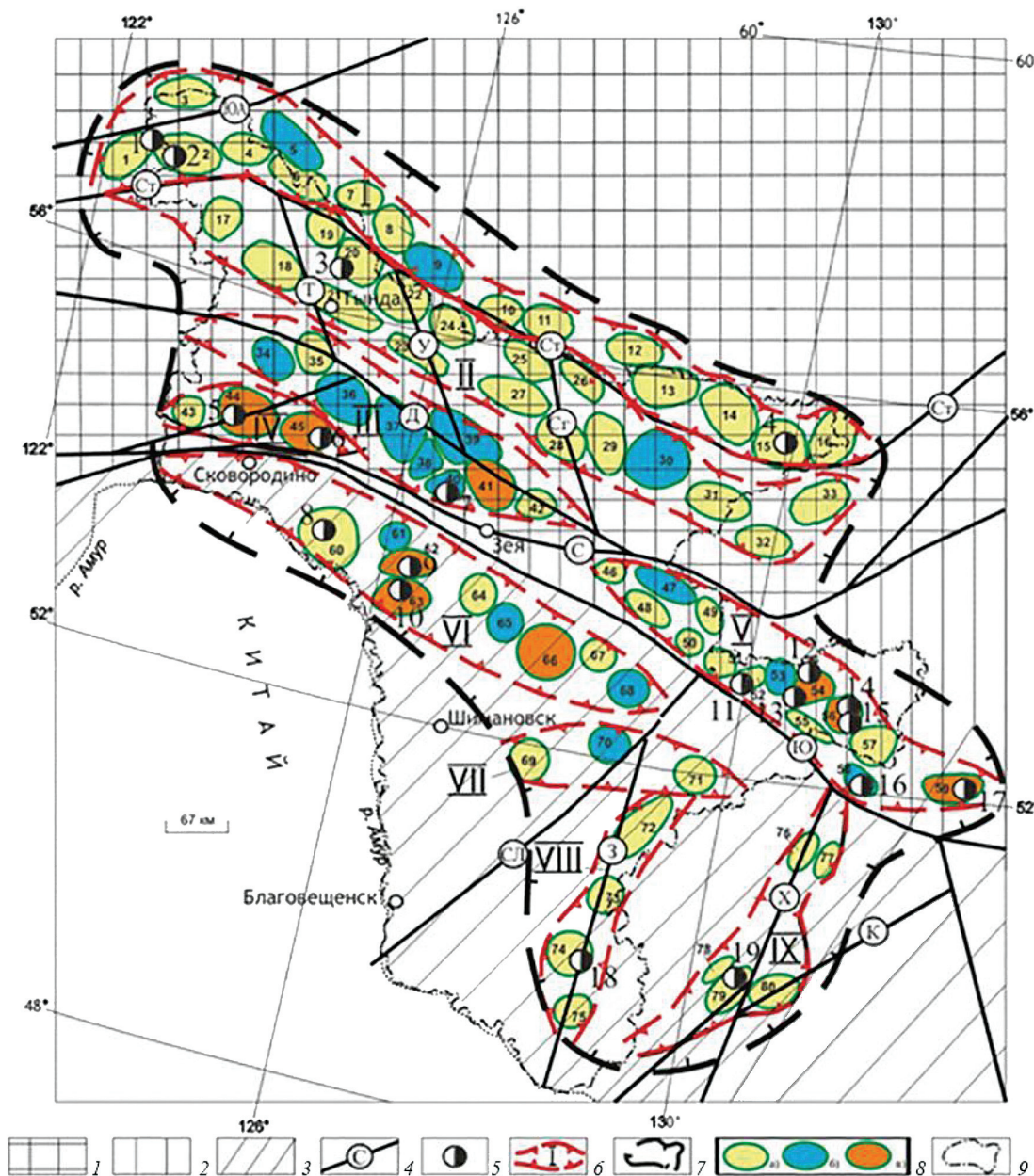


Рис. 1. Металлогения Приамурской золотоносной провинции [8]: 1—3 — геоблоки: 1 — Алдано-Становой; 2 — Монголо-Охотский; 3 — Амурский; 4 — региональные разломы (ЮА — Южно-Алданский, Ст — Становой, Т — Тунгурчанский, С — Северо-Тукурингский, Ю — Южно-Тукурингский, Д — Желтулакский, У — Унахинский, СГ — Сугджарский, З — Западно-Туранский, СЛ — Селемджинский, Х — Западно-Туранский, К — Курский); 5 — золоторудные месторождения и их номера (1 — Ледяное, 2 — Скалистое, 3 — Бамское, 4 — Колчеданный Утёс, 5 — Березитовое, 6 — Кировское, 7 — Золотая Гора, 8 — Буриндинское, 9 — Пионерское, 10 — Покровское, 11 — Маломыр, 12 — Токурское, 13 — Сагурское, 14 — Харгинское, 15 — Албын, 16 — Буровое, 17 — Кербинское, 18 — Прогнозное, 19 — Нони); 6 — металлогенические зоны и их номера (I — Южно-Якутская, II — Северо-Становая, III — Желтулакская, IV — Янканская, V — Джагды-Селемджинская, VI — Северо-Буреинская, VII — Чагоян-Быссинская, VIII — Туранская, IX — Восточно-Буреинская, 7 — контур Приамурской провинции); 8 — границы рудно-россыпных узлов и их номера: а — низкопродуктивные (1 — Китемяхтинский, 2 — Каларский, 3 — Ханыйский, 4 — Юкталыйский, 6 — Чильчинский, 7 — Верхнеалданский, 8 — Беркакитский, 10 — Верхнесутамский, 11 — Среднесутамский, 12 — Алгаминский, 13 — Чапский, 14 — Окононский, 15 — Сологу-Чайдахский, 16 — Кун-Маньёнский, 17 — Бальктахский, 18 — Лопчинский, 19 — Тогунасский, 20 — Бамский, 21 — Ларбинский, 22 — Лапринский, 23 — Штыкжакский, 24 — Малогилойский, 25 — Верхнебрянтинский, 26 — Утугайский, 27 — Среднебрянтинский, 28 — Мульмугинский, 29 — Бомнакский, 31 — Купуринский, 32 — Удыхьинский, 33 — Чогарский, 35 — Хорогочинский, 42 — Журбанский, 43 — Уркинский, 46 — Долбырьский, 48 — Туксинский, 49 — Дугдинский, 50 — Норский, 51 — Эгорский, 52 — Маломырский, 55 — Огоджинский, 57 — Восточноселемджинский, 60 — Буриндинский, 64 — Умлеканский, 67 — Адамихинский, 69 — Чагоянский, 71 — Быссинский, 72 — Быссинский, 73 — Алеунский, 74 — Симичинский, 75 — Архаринский, 76 — Иорикский, 77 — Ургальский, 78 — Верхнеушмунский, 79 — Нонинский, 80 — Верхнегуджалский), б — среднепродуктивные (5 — Кабактанский, 9 — Верхнетимптонский, 30 — Сугджарский, 34 — Уркиминский, 36 — Желтулакский, 37 — Талгинский, 38 — Успенский, 39 — Илкан-Унахинский, 40 — Золотогорский, 47 — Унья-Бомский, 53 — Верхнестойбинский, 58 — Софийский, 61 — Игакский, 65 — Ясененский, 68 — Сохатиный, 70 — Нижнеселемджинский), в — высокопродуктивные (41 — Моготский, 44 — Березитовый, 45 — Соловьёвский, 54 — Токурский, 56 — Харгинский, 59 — Кербинский, 62 — Улунгинский, 63 — Тыгдинский, 66 — Октябрьский); 9 — граница Амурской области

выделено пять наиболее ясно выраженных эталонных пар рудное месторождение—россыпь. В них каждая россыпь в значительной степени сформирована за счёт конкретного месторождения золото-кварцевой, золотосульфидно-кварцевой, золотополиметаллической или золотосеребряной формации.

Первая пара: золотокварцевое месторождение Токур—россыпь руч. Токур (рис. 2). Месторождение Токур является средним по запасам рудного золота, в настоящее время оно в значительной степени отработано. Месторождение расположено среди терригенных толщ позднего палеозоя, прорванных малыми интрузиями и дайками мелового возраста. Рудные тела представлены кварцевыми жилами. Они имеют брекчиевую, полосчатую или сетчатую структуру и сложены кварцем с примесью адуляра, кальцита, анкерита, серицита и хлорита. Из рудных минералов, количество которых не превышает 1—3%, присутствуют арсенопирит, пирит,

галенит, сфалерит и самородное золото. Реже встречаются шеелит, рутил, халькопирит, марказит, блёклые руды, антимонит и кюстелит. Самородное золото в основном мелкое, размером от нескольких микрон до 1—2 мм. Проба его низкая и меняется от 673 до 803‰, в среднем 726‰. Месторождение принадлежит малосульфидной золотокварцевой формации. Россыпь по руч. Токур отработана, добыто около 0,5 т золота. Золото слабоокатанное, нередко в сростках с кварцем, мелкое и средней крупности, пластинчатой, лепешковидной, палочковидной, проволочковидной и комковидной форм. Проба его низкая (в среднем 720‰). Попутные минералы — магнетит, пирит и арсенопирит.

Вторая пара: золотосульфидно-кварцевое месторождение Пионер—россыпь р. Улунги (рис. 3). Месторождение Пионер крупное по запасам. Оно расположено среди гранитоидов раннего мела, прорывающих терригенные породы средне—поздне-

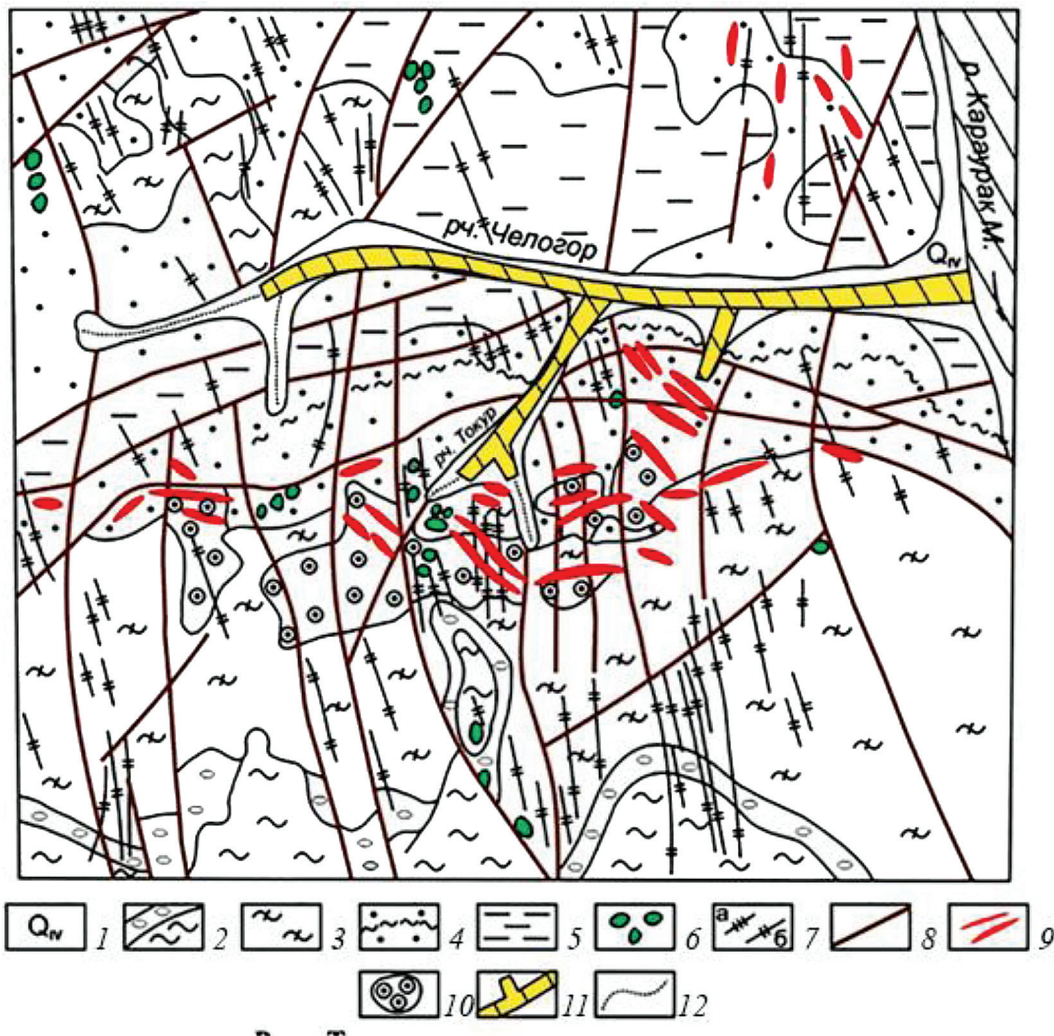


Рис. 2. Токурское золоторудное месторождение [10]: 1 — современный аллювий, 2 — верхняя песчановая толща с кремнями и базальным горизонтом полимиктовых песчаников, 3 — флишевая толща с горизонтами седиментационных брекчий и полимиктовых песчаников, 4 — нижняя песчановая толща с горизонтом филлитизированных алевролитов и кремней, 5 — нижняя аргиллитовая толща, 6 — штоки кварцевых диоритов, 7 — дайки: а — плагиоаплитов, плагиогранит-порфиров, б — диабазовых и диоритовых порфиров, 8 — разломы, 9 — золотоносные кварцевые жилы, 10 — проекция рудных столбов на горизонтальную плоскость, 11 — россыпи золота, 12 — водотоки

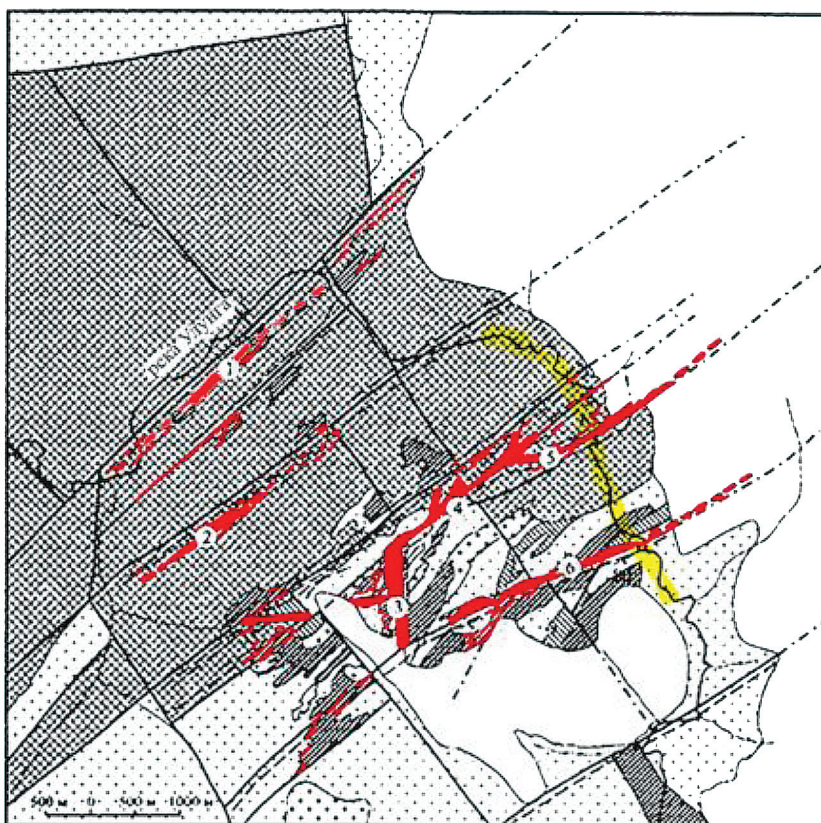


Рис. 3. Золоторудное месторождение Пионер [2]: 1 — неогеновые озёрно-аллювиальные пески, глины, 2 — верхнеюрские песчаники, алевролиты, 3 — нижнемеловые диорит-порфиры, 4 — нижнемеловые гранит-порфиры, 5 — нижнемеловые диориты, гранодиориты, 6 — верхнеюрские гранит-порфиры, 7 — золоторудные штокверковые зоны (1 — Звездочка, 2 — Западная, 3 — Южная, 4 — Промежуточная, 5 — Бахмут, 6 — Андреевская), 8 — россыпи, 9 — разломы и зоны трещиноватости, 10 — элементы залегания рудных зон

юрского возраста. Оруденение парагенетически связано с субвулканическими мелкими интрузиями и дайками раннего мела. Рудные тела представляют собой крутонаклонные линейные штокверки прожилково-сетчатого окварцевания и карбонатизации с прожилково-вкрапленной золотосульфидной минерализацией. Количество сульфидов в рудах меняется от 2 до 8%. Из рудных минералов преобладают пирит и арсенопирит. Кроме того, отмечаются пирротин, магнетит, халькопирит, молибденит, галенит, сфалерит, висмутин, антимонит, сульфосоли свинца, меди, мышьяка, сурьмы, самородное золото, реже серебро, аргентит и акантит. Самородное золото образует микронные выделения и наночастицы в пирите предрудной стадии минерализации, но главным образом это мелкие выделения крючковатой, округлой и рисовидной форм. Проба его от 650 до 880‰ в рядовых рудах и до 870—915‰ в богатых.

Оруденение отнесено к золотосульфидно-кварцевой формации. Широко развита зона окисления, мощностью от 10 до 220 м. За счёт размыва верхней окисленной части месторождения образована россыпь р. Улунги (район прииска Пионер). Россыпь

отработана, из неё добыто 6600 кг золота. Золото слабоокатанное, нередко в сростках с кварцем, мелкое, комковидной и комковидно-кристаллической форм. Средняя его проба 880‰, при колебаниях от 800 до 965‰. Минералами-спутниками золота в россыпи являются циркон, апатит, шеелит, галенит, пирит и киноварь, встречающиеся в рудах месторождения Пионер и вмещающих оруденение породах.

Третья пара: золотосульфидно-кварцевое месторождение Бамское—россыпь р. Чульбангро (рис. 4). Бамское месторождение является крупным по сумме запасов и прогнозных ресурсов. Оно находится среди гнейсов и кристаллосланцев раннеархейского возраста, прорванных гранитами позднеюрского-раннемелового возраста, а также мелкими субвулканическими интрузиями и дайками граносиенитов раннего мела [4].

Рудными телами являются зоны прожилкового окварцевания и линейные минерализованные зоны динамометаморфизма, реже карбонатно-кварцевые жилы, сосредоточенные в зоне Бамского сброса. Руды — от мало до умеренно сульфидных. В сос-

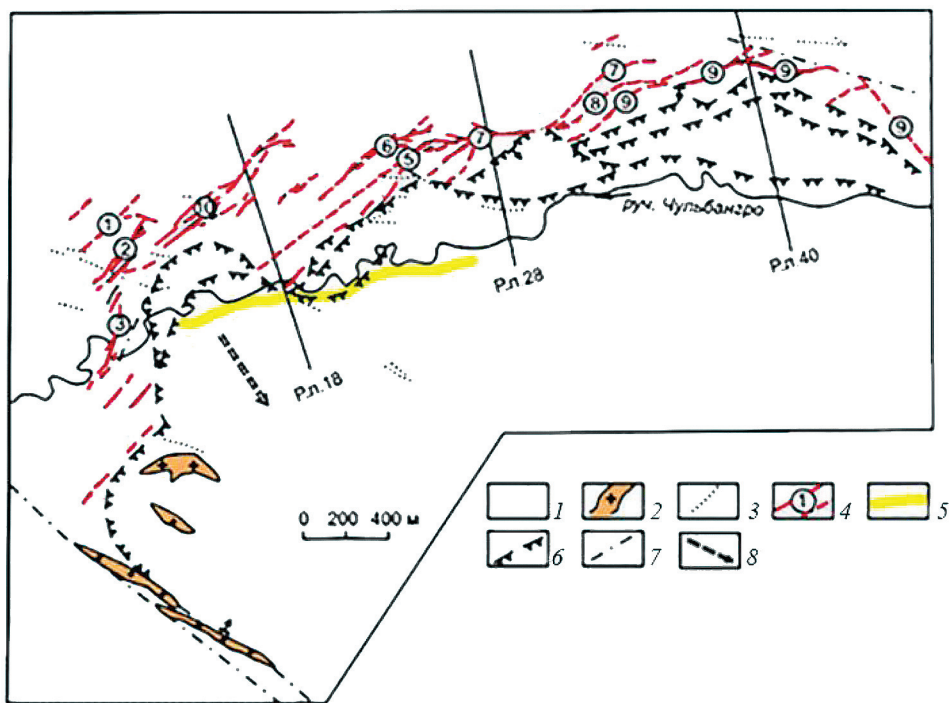


Рис. 4. Структурная схема Бамского месторождения [1]: 1 — гранито-гнейсы докембрия; 2 — кварцевые сиенит-порфиры невачанского комплекса; 3 — дайки диоритовых порфириров и лампрофиров раннего мела; 4 — рудные тела и их номера; 5 — россыпь, 6 — плоскости сместителей зоны Бамского сброса; 7 — радиальный разлом; 8 — направление склонения осей синформных перегибов плоскости Бамского сброса.

таве нерудных компонентов преобладают кварц (иногда халцедоновидный), карбонаты, серицит, отмечаются барит и флюорит. Среди рудных минералов, количество которых меняется от 1–5 до 10%, широко развиты пирит, халькопирит, галенит и золото. Реже встречаются блёклая руда, сфалерит, шеелит, гессит, матильдит, акантит и петцит. Золото тонкое и дисперсное. Проба его варьирует

от 730 до 952‰. Месторождение отнесено к золото-сульфидно-кварцевой формации. Россыпь руч. Чульбангро берёт начало непосредственно от рудных тел Бамского месторождения. Россыпь небольшая, не обрабатывалась. Золото слабоокатанное, часто в сростках с кварцем, иногда с сульфидами, мелкое, пластинчатой, комковидной и крючковатой форм. Средняя проба 850‰.

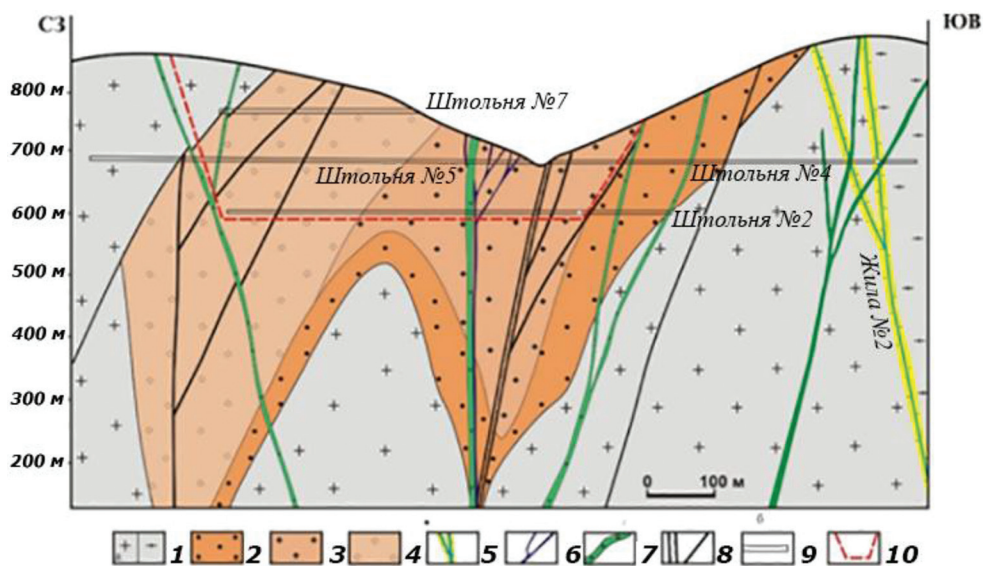


Рис. 5. Вертикальная проекция Березитового месторождения: 1 — позднепалеозойские порфирировидные гранодиориты и граниты (а), гнейсовидные гранодиориты (б); 2–4 — метасоматиты: 2 — турмалин–гранат–ортоклаз–мусковит–кварцевые, 3 — турмалин–гранат–мусковит–кварцевые, 4 — турмалин–гранат–кварц–мусковитовые; 5 — кварцевые жилы; 6–7 — дайки: 6 — метапорфириров, 7 — диоритовых порфириров и спессартиров; 8 — разломы; 9 — горные выработки; 10 — контур карьера

Четвертая пара: золотополиметаллическое месторождение Березитовое—россыпь руч. Константиновского, притока р. Хайкта. Месторождение Березитовое среднее по запасам золота. Оно расположено среди раннепротерозойских (по другим данным позднепалеозойских) гранодиоритов, прорванных дайками диоритовых порфиров и спессартинов раннего мела [5]. Оруденение представлено крупной зоной минерализованных метасоматических пород сложного состава (рис. 5). В плане зона имеет линзовидную форму. Она объединяет два крутонаклонных воронкообразных тела, выклинивающихся с глубиной. Метасоматиты содержат гнезда, прожилки и вкрапленность золотополиметаллического состава.

Среди рудных минералов преобладают галенит, сфалерит, пирит и пирротин, реже встречаются магнетит, халькопирит, арсенопирит, марказит и самородное золото. Наиболее распространено са-

мородное золото ксеноморфной, каплевидной и комковидной форм, реже встречаются уплощенно-вытянутые агрегаты, чешуйчатые и тонкопластинчатые выделения, сложные ажурные, кристаллические и дендритовидные выделения. Проба отдельных золотин колеблется от 666 до 999‰, в среднем составляя 861‰. Наиболее распространено умеренно высокопробное золото (800—899‰). Оруденение отнесено к золотополиметаллической формации. Россыпь руч. Константиновского отработана, добыто 2,0 т золота. Золото слабоокатанное, иногда неокатанное, нередко сростки с сульфидами, мелкое и средней крупности, обладает комковидной и пластинчатой формами. Средняя проба золота 762‰. Попутными минералами в россыпи являются гранат, магнетит и галенит.

Пятая пара: золотосеребряное месторождение Покровское—россыпь р. Сергеевского (рис. 6).

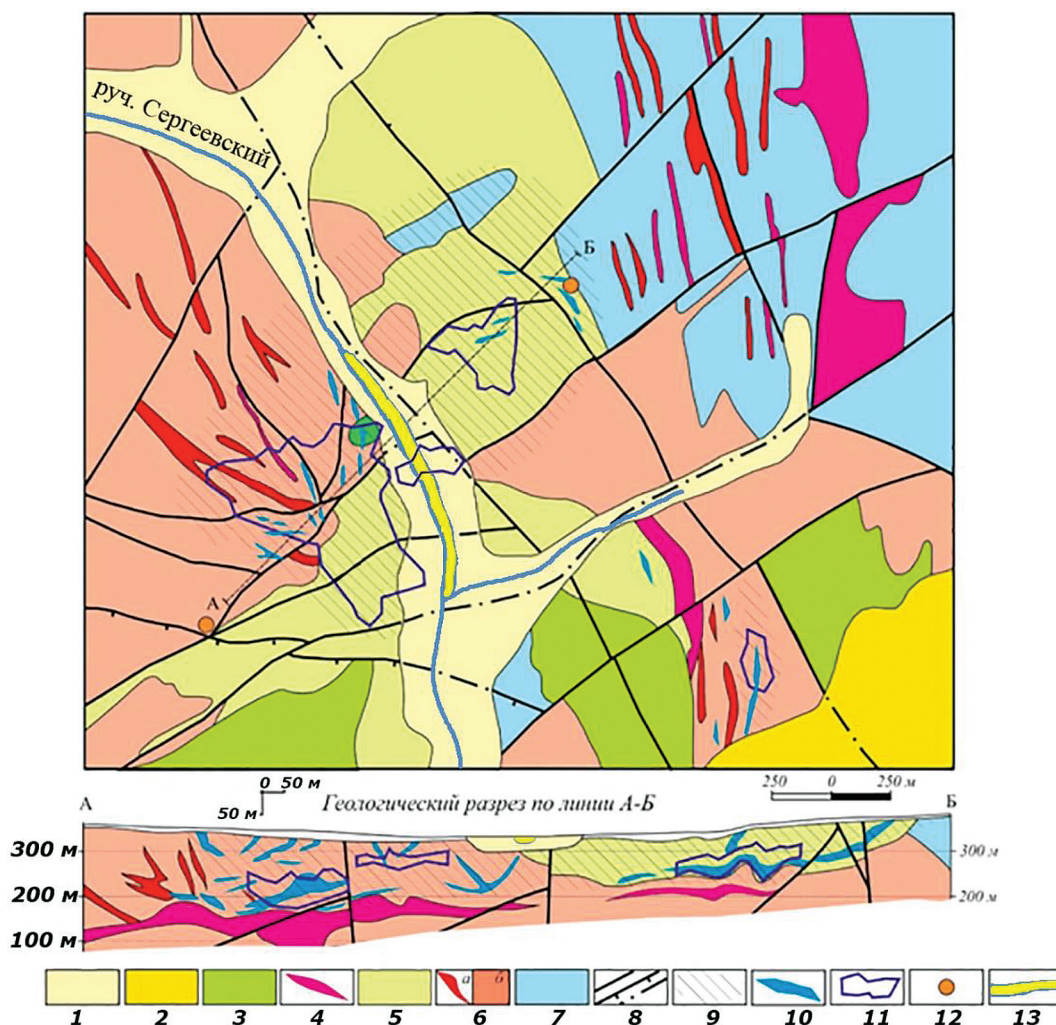


Рис. 6. Схематическая геологическая карта Покровского месторождения [6]: 1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — неогеновые отложения сазанковской свиты (пески, глины, алевриты); 3 — галькинская свита: туфобрекчии с линзами туфопесчаников, песчаников; 4 — талданский комплекс: дациты, дацит-порфиры; 5 — талданская свита: дациты, риодациты, их туфы, лавокластиты; 6 — верхнеамурский комплекс: а — гранит-порфиры; б — граниты биотитовые и гранодиориты; 7 — аякская свита: песчаники, алевролиты, аргиллиты; 8 — разломы; 9 — ареалы развития кварц-серицит-гидрослюдистых метасоматитов; 10 — кварцевые тела (жилы); 11 — проекции рудных тел на горизонтальную и вертикальную плоскость; 12 — рудопроявления золота, 13 — россыпь

Покровское золотосеребряное месторождение среднее по запасам рудного золота. Открыто по находкам золотоносного кварца в русле и на бортах руч. Сергеевского. Месторождение представлено рудоносными залежами сложного строения среди гранитоидов, субвулканических интрузий и вулканитов раннемелового возраста. Часть рудных тел выходит на поверхность. Руды представлены окварцованными и аргиллизированными вулканитами и гранитоидами с убогосульфидной золотосеребряной минерализацией. Среди рудных минералов, количество которых не превышает 1%, преобладает пирит, встречаются марказит, арсенопирит, сфалерит, галенит, антимонит, аргентит, гидроксиды железа и самородное золото. Золото тонкое, низкопробное (626—735‰). Месторождение отнесено к вулканогенной золотосеребряной формации. Россыпь руч. Сергеевского берёт начало непосредственно от рудных тел Покровского месторождения. Россыпь небольшая, полностью отработанная. Из неё добыто 200 кг золота. Золото в россыпи слабоокатанное, часто в сростках с кварцем, мелкое и весьма мелкое, дендритовидной и палочковидной формы. Проба его низкая (690—780‰). Минералами-спутниками золота в россыпи являются магнетит, лимонит, гематит, пирит, киноварь и барит.

Примеры прогнозирования

Проведён предварительный анализ россыпей, схожих с эталонными, для прогнозирования новых месторождений. При прогнозировании учитывалось, что прогнозируемое месторождение в чём-то будет отличаться от эталонного, так как двух совершенно одинаковых месторождений не бывает. Но условия формирования, тип золотого оруденения, запасы золота, состав руд и самородного золота прогнозируемого месторождения будут во многом отвечать эталонным (таблица).

Аналог россыпи первой пары выявлен в пределах Токурского рудно-россыпного узла. Это россыпь по руч. Малый Тарнах. В геологическом строении района руч. Тарнах принимают участие терригенные породы верхнего палеозоя, прорванные дайками позднемезозойского возраста [8, 10]. Типоморфные особенности самородного золота и параметры россыпи по руч. Малый Тарнах и руч. Токур идентичны. В россыпи руч. Токур добыто около 500 кг золота низкой пробы (720‰), в руч. Малый Тарнах — около 300 кг золота низкой пробы (670—760, средняя 715‰). Золото в россыпи руч. Тарнах мелкое, комковидное и пластинчатое, слабоокатанное. Встречаются сростки золота с кварцем. В бассейне руч. Малый Тарнах прогнозируется выявление золото кварцевого оруденения, близкого по уровню эрозионного среза и параметрам месторождению Токур.

Аналог россыпи второй пары обнаружен в Игакском РПУ в бассейне р. Игак. Бассейн верховьев р. Игак сложен гранитоидами и субвулканическими интрузиями и дайками раннего мела, прорывающими терригенные толщи палеозоя и мезозоя [3]. Геологическая обстановка аналогична району россыпи р. Улунга (Улунгинский РПУ). Уровень эрозионного среза устанавливается по наличию субвулканических интрузий. Из россыпи р. Улунга в районе прииска Пионер добыто 6,6 т мелкого и средней крупности золота, средняя проба 880‰ при колебании от 800 до 965, а из россыпи р. Игак — 5 т золота. Золото мелкое и средней крупности (средняя крупность 0,45 мм), комковидной, пластинчатой и чешуйчатой форм. Встречаются сростки золота с кварцем, реже с пиритом. Проба его 764—846‰, средняя 797‰. Здесь прогнозируется крупное золотосульфидно-кварцевое месторождение (аналог месторождения Пионер).

Аналогами россыпи третьей эталонной пары являются две небольшие, сближенные россыпи по руч. Опекон и Невачан Бамского РПУ. В геологическом строении района россыпей преобладают гранитоиды и гнейсы докембрия, прорванные мелкими субвулканическими интрузиями и дайками раннего мела [4]. Уровень эрозионного среза определяется наличием субвулканических интрузий и отвечает району Бамского месторождения. Россыпное золото мелкое, пластинчатой и комковатой формы, проба его 850‰ (Невачан) и 847‰ при колебаниях от 825 до 900‰ (Опекон). Наблюдаются сростки золота с кварцем, реже с лимонитом и пиритом. В бассейне этих ручьёв прогнозируется золотое оруденение золотосульфидной формации бамского типа.

Россыпь руч. Гайманка, схожая по параметрам с россыпью руч. Константиновского, берущей начало на Березитовом месторождении, является притоком р. Коровина в Березитовом РПУ [8]. В геологическом строении площади принимают участие метаморфические и интрузивные образования докембрия, прорванные небольшими интрузиями и дайками мелового возраста. Это указывает на средний уровень эрозионного среза площади, такой же, как на эталонном Березитовом месторождении. В россыпи добыто 1,6 т золота со средней пробой 813‰. Золото мелкое, слабоокатанное, таблитчатой и комковидной форм. Наблюдаются сростки золота с галенитом и золото с включениями кварца. Среди других минералов отмечаются гранат и магнетит. В бассейне руч. Гайманка прогнозируется золотополиметаллическое оруденение типа месторождения Березитового.

Аналог россыпи пятой пары расположен в бассейне р. Красная Магдагачинского РПУ [3]. Бассейн р. Красная сложен гранитоидами и терригенными породами мезозоя, субвулканическими интрузиями и покровными вулканитами раннего

Характеристика золоторудных месторождений и россыпей

Тип объекта	Название	Крупность объекта, запасы т	Геолого-структурная позиция	Проба золота, ‰	Форма и размеры золотин	Сопутствующие минералы, сростки
Месторождение	Токур	Среднее	Терригенные, черносланцевые толщи палеозоя, прорванные малыми интрузиями и дайками мелового возраста	726 (673—803)	Мелкое, от микрон до 1—2 мм, комковидное, угловатое, неправильной формы	Арсенопирит, пирит, галенит
Эталонная россыпь	Руч. Токур	0,5		720	Мелкое и средней крупности, пластинчатое, палочковидное и комковидное	Магнетит, пирит, арсенопирит
Аналог	Руч. Тарнах	0,5	Терригенные породы палеозоя, дайки позднего мезозоя	715 (670—760)	Мелкое, комковидное и пластинчатое, слабоокатанное	Сростки золота с кварцем
Месторождение	Пионер	Крупное	Мезозойские терригенные породы, прорванные гранитами, субвулканическими интрузиями и дайками раннего мела	650—915	Мелкое, крючковатое, округлой и рисовидной форм	Пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, галенит
Эталонная россыпь	Р. Улунга	6,6		880 (800—965)	Мелкое, комковидное и комковидно-кристаллическое	Шеелит, галенит, пирит и киноварь
Аналог	Р. Игак	5,0	Терригенные породы палеозоя и мезозоя, граниты и субвулканические интрузии раннего мела	797 (764—846)	Мелкое и средней крупности, комковидное, пластинчатое и чешуйчатое	Сростки золота с кварцем, реже с пиритом
Месторождение	Бамское	Крупное	Гнейсы и кристаллосланцы докембрия, граниты и субвулканические интрузии и дайки граносиенитов раннего мела	730—952	Тонкое и дисперсное	Пирит, халькопирит, галенит
Эталонная россыпь	Р. Чульбангро	0,1		850	Мелкое, пластинчатое, комковидное и крючковатое	Пирит, лимонит, халькопирит
Аналог	Руч. Опекон, Невачан	0,1 0,1	Гранитоиды и гнейсы докембрия, субвулканические интрузии и дайки раннего мела	850 850	Мелкое, слабоокатанное, пластинчатое и комковидное	Сростки с кварцем, лимонитом и пиритом
Месторождение	Березитовое	Среднее	Раннепротерозойские гранодиориты, дайки диоритовых порфиритов и спессартинов раннего мела	666—999	Мелкое, ксеноморфное, каплевидное, чешуйчатое и кристаллическое	Сфалерит, галенит, магнетит, гранат
Эталонная россыпь	Руч. Константиновский	2,0		762	Мелкое и средней крупности, комковидное и пластинчатое	Гранат, магнетит, галенит
Аналог	Руч. Гайманка	1,6	Метаморфиты и интрузии докембрия, интрузии и дайки мелового возраста	813	Мелкое, слабоокатанное, таблитчатое и комковидное	Сростки с галенитом и кварцем, гранат, магнетит
Месторождение	Покровское	Среднее	Терригенные породы и вулканы раннего мела, субвулканические интрузии, силлы и дайки раннего мела	626—735	Тонкое и мелкое, пластинчатое и дендритовидное	Пирит, марказит, арсенопирит, антимонит, аргентит
Эталонная россыпь	Руч. Сергеевский	0,2		690—780	Мелкое и весьма мелкое, дендритовидной и палочковидной форм	Магнетит, лимонит, гематит, пирит, киноварь
Аналог	Р. Красная	0,18	Гранитоиды и терригенные породы мезозоя, вулканы и субвулканические интрузии раннего мела	794	Мелкое и средней крупности, слабоокатанное, комковидное и пластинчатое	Пирит, гематит, сростки золота с кварцем

мела. Наличие вулканитов и субвулканических интрузий свидетельствует о небольшом уровне эрозивного среза, идентичного району Покровского месторождения. Из россыпи р. Красная добыто 182 кг золота. Золото мелкое и средней крупности, комковидной и пластинчатой форм. Проба его низкая (в среднем 794‰). Встречаются сростки золота с кварцем. Минералами—спутниками являются пирит и гематит. В эталонной россыпи руч. Сергеевского добыто около 200 кг низкопробного (690—780‰) золота. В бассейне р. Красная прогнозируется среднее по запасам вулканогенное золотосеребряное месторождение (аналог Покровского месторождения).

Заключение

В Приамурской провинции выявлено около 1400 россыпей и всего несколько десятков месторождений рудного золота. Россыпи в значительной мере отработаны, поэтому будущее провинции видится в выявлении новых золоторудных месторождений. Одним из методов прогнозирования новых месторождений может быть выделение эталонных пар золоторудное месторождение—россыпь с последующим прогнозированием новых месторождений в районах, близких по геолого-структурной позиции и наличием россыпей с параметрами, близкими к эталонным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бамское золоторудное месторождение (геология, минералогия, геохимия) / Под ред. В.А. Степанова. Владивосток: Дальнаука, 1998. 209 с.
2. Золоторудные месторождения России /Под ред. М.М. Константинова. М.: Акварель, 2010. 349 с.
3. Мельников А.В., Степанов В.А. Рудно-россыпные узлы южной части Приамурской золотоносной провинции. Благовещенск: АмГУ, 2013. 222 с.
4. Мельников А.В., Степанов В.А. Рудно-россыпные узлы Приамурской золотоносной провинции. Часть 3. Северная часть провинции. Благовещенск: АмГУ, 2015. 256 с.
5. Месторождения рудного золота Приамурской провинции / Под ред. В.А. Степанова. Благовещенск: АмГУ, 2017. 150 с.
6. Пересторонин А.Е., Степанов В.А. Золото-серебряные месторождения Приамурья // Региональная геология и металлогения. 2016. № 66. С. 113—125.
7. Степанов В.А., Мельников А.В., Вах А.С. и др. Приамурская золоторудная провинция. Благовещенск: АмГУ, 2000. 232 с.
8. Степанов В.А., Мельников А.В. Высокопродуктивные золотоносные рудно-россыпные узлы Приамурья (Россия). Lap Lambert academic publishing. 2018. 150 с.
9. Шило Н.А. Учение о россыпях. М.: Изд-во академии горных наук, 2000. 632 с.
10. Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г. Токурское золоторудное поле: геология, геохимия, генезис. Хабаровск: АмурКНИИ, 1998. 149 с.

REFERENCES

1. *BAM gold Deposit (Geology, Mineralogy, Geochemistry)* / Ed. V.A. Stepanova. Vladivostok, Dalnauka, Publ., 1998, 209 p. (In Russian).
2. *Gold deposits of Russia* / Ed. M.M. Konstantinov. M., Akvarel, 2010, 349 p. (In Russian).
3. Melnikov A.V., Stepanov V. A. *Ore-alluvial nodes of the southern part of the Amur gold-bearing province*. Blagoveshchensk, AmGU, 2013, 222 p. (In Russian).
4. Melnikov A.V., Stepanov V. A. *Ore-alluvial nodes of the Amur gold-bearing province. Part 3. Northern part of the province*. Blagoveshchensk, AmGU, 2015, 256 p. (In Russian).
5. *Deposits of gold ore Priamurskaya province* / Ed. by V.A. Stepanov. Blagoveshchensk, AmGU, 2017, 150 p. (In Russian).
6. Perestoronin A.E., Stepanov V.A. Gold and silver deposits of the Amur region. *Regional Geology and metallogeny*, 2016, no. 66, pp. 113—125. (In Russian).
7. Stepanov V.A., Melnikov A.V., Vakh A.S., etc. *The Amur gold province*. Blagoveshchensk, AmGU, 2000, 232 p. (In Russian).
8. Stepanov V.A., Melnikov A.V.. *Russia Highly productive gold-bearing ore-ore-ore nodes of Priamurye (Russia)*. Lap Lambert academic publishing, 2018, 150 p. (In Russian).
9. Shilo N.A. *The doctrine of placers*. M., Publishing house of Academy of mining Sciences, 2000, 632 p. (In Russian).
10. Eirish L.V., Ostapenko N.S., Moiseenko V.G. *Tokur gold field: Geology, Geochemistry, Genesis*. Khabarovsk, AmurKNII, 1998, 149 p. (In Russian).

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.4; 556.3; 551.311.8

**ВОЗРАСТ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВОД СРЕДНЕПЛИОЦЕНОВОГО
ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ДЕЛЬТЫ МЕКОНГА (ВЬЕТНАМ)
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОУГЛЕРОДНОГО ДАТИРОВАНИЯ**

В.Х.-К. ЛАМ¹, А.Б. ЛИСЕНКОВ¹, В.Ю. ЛАВРУШИН², К. В. БЕЛОВ¹

*¹ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: lamviet2906@gmail.com, Lisenkov.rsgpu@mail.ru, kostik-belowne@rambler.ru*

*²Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия
e-mail: v_lavrushin@ginras.ru*

Результаты исследований и оценки воздействий изменения климата на подземные воды в дельте Меконга показали, что эксплуатация четвертичных водоносных горизонтов не решает всех проблем водоснабжения региона. Поэтому в планировании эксплуатации подземных вод наибольшие перспективы связываются с плиоценовыми водоносными горизонтами. Таким образом, использование изотопных исследований для определения возраста и условий формирования подземных вод в среднеплиоценовом водоносном (n_2^2) горизонте является актуальным вопросом, влияющим на схему эксплуатации подземных вод. Определение возраста с использованием радиоактивного изотопа C^{14} в комплексе с методом геостатистической интерполяции позволило построить карту возрастов подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта с высокой точностью и определить местоположение области питания на северо-востоке дельты Меконга (Юго-Восточная область). Движение потока подземных вод со скоростью 8 м/год здесь ориентировано из области питания в юго-западном направлении. Разгрузка осуществляется в морскую акваторию (Сиамский залив и Восточное море). Впервые, в практике гидрогеологических исследований был использован метод геостатистической интерполяции «cokriging» двух параметров (возраст — ключевой параметр и отметки глубин опробования — дополнительный параметр). Были решены задачи, направленные на повышение точности полученных результатов при построении специализированных карт для территории Вьетнама. Карта возрастов подземных вод изучаемой территории построена с коэффициентом корреляции 0,9, что подтверждает высокую эффективность проведённых исследований. Кроме того, результаты корреляции между возрастом и концентрацией хлор-иона подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта позволили заключить, что формирование минерализованных вод — результат смешения инфильтрационных (пресных и изотопно-легких) с седиментационными водами, изначально имеющими морской генезис, которые были сформированы во время Фландрской трансгрессии, начавшейся около 21 тыс. лет назад и закончившейся 4,2 тыс. лет назад.

Ключевые слова: подземные воды; изотоп углерода C^{14} ; область питания; направление потока; скорость потока; седиментогенный генезис; метеорные воды.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-59-65

AGE AND FORMING CONDITIONS OF GROUNDWATER IN THE MIDDLE PLIOCENE AQUIFER IN THE MEKONG DELTA, VIETNAM, BASED ON THE RESULTS OF CARBON RADIOACTIVE ISOTOPE STUDY

LAM HOANG QUOC VIET¹, A.B. LISEKOV¹, V.J. LAVRUSHIN², K. BELOV¹

¹Russian State Geological Prospecting University, 23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: lamviet2906@gmail.com, Lisenkov.rsgpu@mail.ru, kostik-belowne@rambler.ru

²Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky street, Moscow 19017, Russia;
e-mail: v_lavrushin@ginras.ru

The results of studying and assessment of the impact of climate change on the groundwater in the Mekong delta have indicated that the exploitation of quaternary aquifers is not enough to solve the task of water supply in the region. Therefore, in the exploitation plan of groundwater in the Mekong Delta, the greatest prospects are bound with Pliocene aquifers. So, by using of carbon radioactive isotope to determine the age and forming conditions of groundwater in the middle Pliocene aquifer in the Mekong Delta, the important information for planning exploitation and zoning of areas subject to restrained exploitation of groundwater is retrieved. The determination of the age with the use of carbon radioactive isotope study in the complex with the geostatistical interpolation techniques allowed creation age map of middle-Pliocene aquifer with high accuracy and determination the recharge area on the north-east of the Mekong delta (South-Eastern area). From the recharge area, groundwater flows in the south-west direction at a flow velocity of 8 m/year and discharges into the sea (Siam Golf and Eastern sea). It is the first time by using geostatistical interpolation «cokriging» of two parameters (age - key parameter and depth of sampling - extra parameter). The tasks to improve the accuracy of specialized maps in Vietnam have been solved. The age map has been made with the correlation parameter 0,9, that justifies the high efficiency of the studies. Furthermore, results of the correlation between age and concentration chlorine of groundwater in the middle-Pliocene aquifer (n22) allowed making a suggestion, that formation of mineralized water is a result of mixing of meteoric water with the sedimentation waters of initial sea genesis, which were formed during Flandrian transgression which began about 21000 years ago and ended 4200 years ago.

Keywords: groundwater; carbon-14; recharging area; discharging area; flow velocity; meteorological water; sedimentogenous genesis.

Дельта Меконга — регион, расположенный в юго-западной части Вьетнама (рис. 1). Для территории характерен тропический муссонный климат с влажным и сухим сезонами. Среднегодовое количество осадков варьирует от 1400 до 2400 мм в год, причем более 90% ежегодных осадков выпадает во влажном сезоне (с мая по ноябрь) и менее 10% в сухом (с декабря по апрель).

Проблема хозяйственно-питьевого водоснабжения региона весьма актуальна, поскольку она лимитирует его экономическое развитие. Эксплуатация верхних (четвертичных) водоносных горизонтов не решает всех проблем. Водоотбор из ряда горизонтов превышает их эксплуатационные возможности. Также следует учитывать, что качество и водообильность неглубоких водоносных горизонтов напрямую зависят от изменения климата, вторжения морских вод и антропогенного загрязнения. Несмотря на то, что фактический эксплуатационный расход подземных вод составляет только 3% от общих их запасов, положение пьезометрического уровня имеет ярко выраженный тренд к снижению. Этот факт позволяет заключить, что эксплуатационная нагрузка на подземные воды в пределах каждого горизонта и распределение эксплуатационных скважин в дельте Меконга не являются оптимальными.

Более детальная характеристика распределения запасов подземных вод в дельте Меконга, и эксплуатационные возможности голоценовых (Q_{IV}),



Рис. 1. Карта распространения среднеплиоценового водоносного горизонта в дельте Меконга: 1 — область распространения среднеплиоценового водоносного горизонта; 2 — Юго-Восточная область; 3 — граница среднеплиоценового водоносного горизонта; 4 — расположение точек отбора проб; 5 — разломы; 6 — разлом Хау; 7 — линии гидрогеологических разрезов

Таблица 1

Характеристика эксплуатации подземных вод в дельте Меконга [6]

Водоносные горизонты	Запасы подземных вод, м ³ /сут.	Оцененные эксплуатационные запасы*, м ³ /сут.	Фактический эксплуатационный расход подземных вод в 2010 г, м ³ /сут.	Эксплуатационные возможности водоносных горизонтов, м ³ /сут.
Верхний плейстоцен (qp ₃)			17851	
Средний-верхний плейстоцен (qp ₂₋₃)	8411295	400421	114945	285476
Нижний плейстоцен (qp ₁)	11095312	888328	977514	-89186
Средний плиоцен (n ₂ ²)	10639035	720484	130077	590407
Нижний плиоцен (n ₁ ¹)	11974476	879731	477359	402372
Миоцен (n ₁ ³)	10562852	1012824	87652	925172
Верхний плейстоцен (qp ₃)	8954345	600809	118235	482574
Итого	61637315	4502597	1905782	2596815

Примечание. *Оцененные эксплуатационные запасы подземных вод составляет 20% от общих запасов пресных подземных вод.

плей-стоценовых (Q_{IV}³, Q_{IV}²⁻³, Q_{IV}¹), плиоценовых (N₂², N₂¹) и миоценовых (N₁³) отложений приведена нами в [2] и в табл. 1.

Распределение пресных и минерализованных вод в водоносных горизонтах дельты Меконга носит сложный, неоднородный характер. Общая минерализация и химический состав подземных вод изменяются незакономерно как с глубиной, так и по

площади их распространения. Так, в четвертичных водоносных горизонтах развиты в основном хлоридно-гидрокарбонатные воды, а в плиоценовых и миоценовых — гидрокарбонатные. Главные перспективы в планировании эксплуатации подземных вод региона связываются с плиоценовыми водоносными горизонтами, которые по своему качеству и фильтрационным характеристикам наиболее

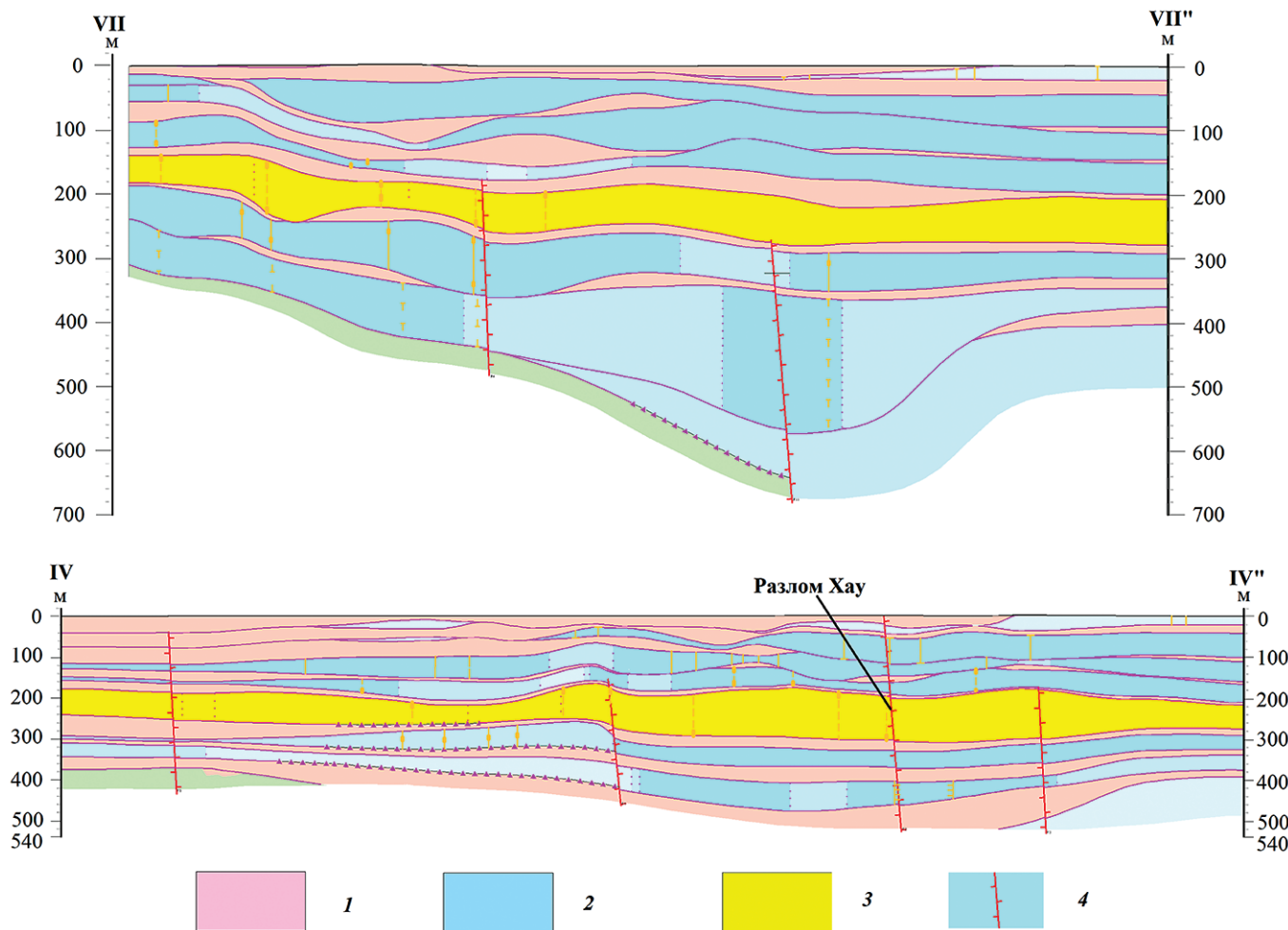


Рис. 2. Гидрогеологические разрезы по линиям VI-VI и VII-VII [6]: 1 – 3 – горизонты: 1 – водоупорный; 2 – водоносные; 3 – средне-плиоценовый водоносный, 4 – разломы

перспективны для хозяйственно-питьевого водоснабжения региона.

Среднеплиоценовый водоносный горизонт имеет региональное распространение, значительную мощность и фактический эксплуатационный расход в его пределах достигает 130077 м³/сут., при оцененных эксплуатационных запасах подземных вод 879731 м³/сут. (табл. 1). Литологический состав водоносных пород горизонта достаточно однороден и представлен терригенными образованиями — пески, песчаники, глинистые разности, накапливающиеся в морских и субаквальных условиях (рис. 2).

Глубина залегания среднеплиоценового водоносного горизонта колеблется в диапазоне от 40 до 320 м при мощности, изменяющейся в диапазоне от 4 до 150 м, падение слоёв юго-западное, в сторону Восточного моря. В этом же направлении ориентирован фильтрационный поток рассматриваемого горизонта. Согласно исследованиям [12], разлом, вдоль которого течёт протока Хау (рис. 1, 2), оказывает влияние на характер движения подземных вод в плиоценовом водоносном горизонте в дельте Меконга, играет барражную роль и служит областью взаимосвязи с соседними горизонтами. Радиоизотопные исследования, выполненные авторами, подтвердили эту гипотезу.

Анализ графика колебаний пьезометрического уровня среднеплиоценового водоносного горизонта за 2003—2013 гг. [7] показал, что он имеет ежегодный тренд к снижению (0,62±0,89 м/год), и изменения уровней носят сезонный характер. Максимальные отметки положения пьезометрического уровня характерны для влажного сезона (октябрь) и минимальные для сухого сезона (апрель).

Гидрогеологические особенности формирования вод среднеплиоценового водоносного горизонта изучены недостаточно, что затрудняет разработку оптимальной схемы его эксплуатации. Наряду с гидрогеохимическими и гидродинамическими исследованиями важную информацию об условиях формирования вод может дать оценка возраста подземных вод в различных частях бассейна р. Меконг. Таким образом, цель наших исследований ориентирована на оценку возраста и условий формирования вод среднеплиоценового водоносного горизонта дельты р. Меконг. В качестве метода исследований нами выбран радиоуглеродный анализ, позволяющий оценить возраст подземных вод, их динамику и уточнить условия формирования.

Для изучения характеристики динамики подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта, в 2015 и 2016 гг. было отобрано 18 проб воды для определения возраста с использованием изотопа С¹⁴ (табл. 2). Кроме того, результаты исследования этих проб были дополнены материалами предыдущих исследований, проведённых в 1982—2001 гг. [7,11]. В результате была собрана

представительная (42 образца воды) база радиоизотопных данных, характеризующая среднеплиоценовый водоносный горизонт дельты Меконга.

Отбор проб проводился в соответствии с процедурой, предусмотренной положениями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [10].

С¹⁴ в подземных водах осаждался ВаСО₃, при этом трансформировался в бензол (С₆Н₆). Измерения содержания С¹⁴ выполнялись на приборе «LKB WLLacCangaroo 1217» в Департаменте изотопной гидрогеологии Ядерного центра Хошими-на. В соответствии с используемым методом предел определения абсолютного возраста достигает 45 тыс. лет. Результаты проведённых исследований для подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта (табл. 2) в заданном диапазоне определения возраста показали, что выбор метода является оптимальным.

При изучении корреляции значений абсолютного возраста с концентрациями хлоридов в подземных водах установлено, что для проб с концентрацией ионов хлора >100 мг/л характерно уменьшение возраста с увеличением концентрации хлоридов (экспоненциальная зависимость). Это связано с тем, что их концентрация зависит от концентрации С¹⁴ и хлор-иона в морской воде. Можно сказать, что минерализованные воды (с большими концентрациями хлора) формировались в результате смешения инфильтрационных (пресных и изотопно-лёгких) с седиментационными водами, изначально имеющими морской генезис. Таким образом, высокоминерализованные подземные воды имеют более «молодой» возраст, следовательно, связаны с современной морской трансгрессией,

Таблица 2

Возраст и концентрация хлора проб среднеплиоценового водоносного горизонта в 2015 и 2016 гг.

Номер	Код проб	Концентрация хлор-иона, мг/л	Возраст, лет
1	Q040040	1,8	Современный
2	Q22404T	2,2	350
3	Q223040	8,1	Современный
4	Q22104Z	2,7	3312
5	Q011040	6,3	10711
6	Q714040	18,9	Современный
7	Q02204Z	5,3	16078
8	Q604050	34,7	12932
9	Q217030	34,7	23998
10	Q17704T M1	43,2	24407
11	Q206030	67,0	29286
12	Q597N22	83,2	18507
13	Q19904Z	456,0	36639
14	Q40104T	1043,9	25421
15	Q32604T M1	3956,0	7098
16	Q409040 M1	6516,0	Без СО ₂
17	Q21104T	8873,0	17600
18	Q214030	10104,0	11104

происходившей не позже 7–11 тыс. лет назад, что соответствует Фландрской трансгрессии, захватившей всю европейскую и азиатскую части нашей планеты.

Для проб с концентрацией ионов хлора ≤ 100 мг/л тренд имеет обратную направленность и возраст подземных вод увеличиваться с увеличением концентрации хлор-иона (линейная зависимость). Поскольку C^{14} не контактирует с атмосферой, его концентрация уменьшается со временем и подчиняется законам радиоактивного распада. Поэтому для проб, имеющих концентрацию хлор-иона в подземных водах меньше, чем 100 мг/л, радиоактивный распад C^{14} происходил нормально и коррелирует с растворением хлоридов, поступающих из обменного комплекса пород (рис. 3). Полученный результат показывает, что при концентрации хлор-иона в диапазоне от ≈ 10 до 100 мг/л увеличение минерализации воды не оказывает влияния на её изотопные характеристики, что может указывать на поступление хлорида из обменного комплекса пород при взаимодействии с пресными водами. Иначе говоря, значение возраста пресных вод соответствует возрасту инфильтрационных (пресных и изотопно-лёгких) вод.

Для построения карты возрастов подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта, использована геостатистическая интерполяция «cokriging» двух параметров [1, 13] (возраст — ключевой параметр и отметки глубин опробования — дополнительный параметр), которая позволяет повысить точность процесса интерполяции. Кроме того, направление потока, определяемое разницей пьезометрических уровней, также влияет на геостатистическую интерполяцию, повышая качество результата. Такой подход к построению гидрогеологических карт во Вьетнаме был использован впервые.

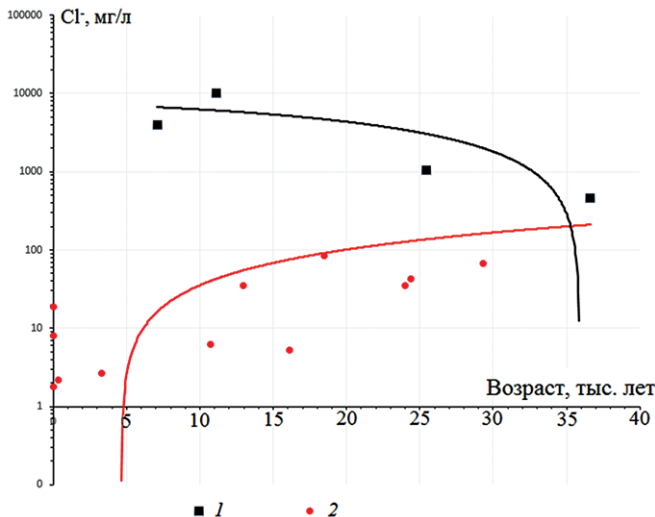


Рис. 3. График корреляции между возрастом подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта и концентрацией хлор-иона: 1 — > 100 мг/л; 2 — < 100 мг/л

В результате была построена карта возрастов подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта с коэффициентом корреляции между параметром интерполяции и реальным параметром 0,9 (рис. 4).

Подземные воды среднеплиоценового водоносного горизонта области питания имеют минимальный возраст — они «молодые», и область их распространения расположена на северо-востоке дельты Меконга. Вследствие изменения возраста минерализованных вод средняя действительная скорость потока определяется по пройденному расстоянию, разделённому на время перемещения фронта пресных вод от области питания, и составляет 8 м/год.

На карте возрастов подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта выделяется область, которая расположена рядом с разломом Хау, где наблюдается увеличение возраста подземных вод. Это можно объяснить тем, что в процессе фильтрации из области питания в область разгрузки подземные воды, проходящие район разлома Хау (рис. 4), подвергаются его влиянию. Во-первых, вдоль разлома возможен надвиг, блокирующий латеральный массоперенос, и гидравлическая целостность фильтрационного потока нарушается. Как

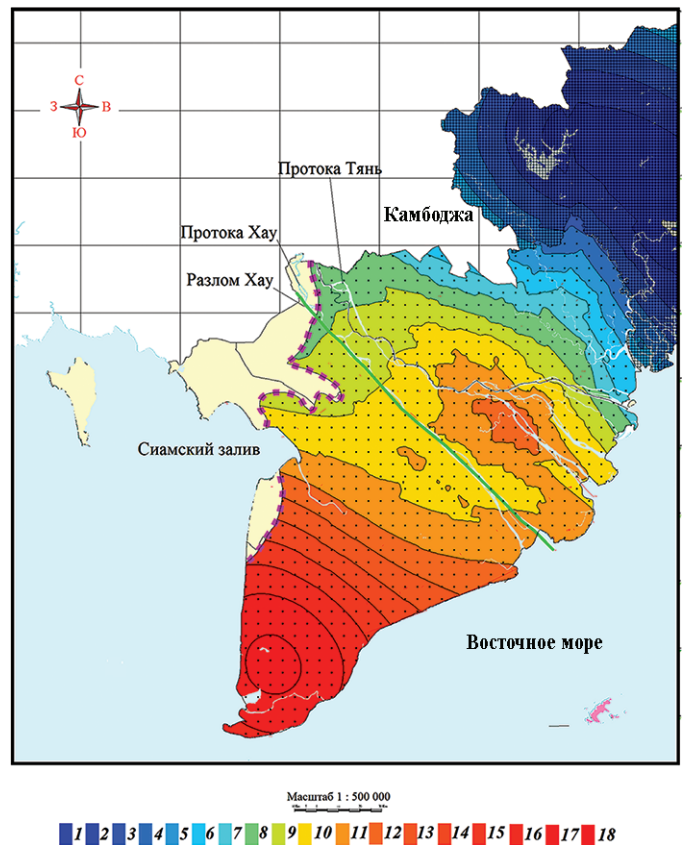


Рис. 4. Карта возраста подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта в дельте Меконга (лет): 1 — 0–2000; 2 — 2000–4000; 3 — 4000–6000; 4 — 6000–8000; 5 — 8000–10000; 6 — 10000–12000; 7 — 12000–14000; 8 — 14000–16000; 9 — 16000–18000; 10 — 18000–20000; 11 — 20000–22000; 12 — 22000–24000; 13 — 24000–26000; 14 — 26000–28000; 15 — 28000–30000; 16 — 30000–32000; 17 — 32000–34000; 18 — 34000–36000

следствие, здесь формируется зона гидродинамического «застоя» и возраст подземных вод «увеличивается» по сравнению с окружающими зону влияния разлома водами. Во-вторых, в области разлома возможно перетекание более «древних» вод из нижнеплиоценового водоносного горизонта.

Обсуждение результатов

Таким образом, подземные воды среднеплиоценового водоносного горизонта, возраст которых меньше 40 тыс. лет, не могут быть седиментогенными, сохранившимися с прошедших геологических периодов и не участвующими в течение продолжительного периода времени в геологическом круговороте воды, который исчисляется несколькими миллионами лет. Подземные воды, характеризующиеся высокими концентрациями хлор-иона, с возрастом от 7 до 11 тыс. лет, образуются в результате смешения инфильтрационных (пресных и изотопно-лёгких) и седиментогенных вод, которые были сформированы во время Фландрской трансгрессии, начавшейся около 21 тыс. лет назад и закончившейся 4,2 тыс. лет назад [4, 5, 9].

Выводы

В целом проведенные исследования содержания S^{14} в подземных водах среднеплиоценового водо-

носного горизонта дельты Меконга и ранее выполненные исследования [2] позволили получить следующие результаты:

1. С помощью геостатистического метода построена карта возрастов подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта и определено местоположение области питания, на северо-востоке дельты Меконга (Юго-Восточная область). Фильтрационный поток подземных вод ориентирован из области питания в юго-западном направлении. Разгрузка осуществляется в морскую акваторию (Сиамский залив и Восточное море). Действительная скорость фильтрации потока составляет 8 м/год.

2. Результаты исследований стабильных [2, 12] и радиоактивных изотопов показали, что подземные воды среднеплиоценового водоносного горизонта формируются в основном за счёт инфильтрации метеорных вод. Минерализованные воды формируются в результате смешения инфильтрационных (пресных и изотопно-лёгких) и седиментационных вод, изначально имеющих морской генезис.

3. Полученные авторами результаты будут реализованы в процессе выбора мест заложения водозаборных скважин и послужат основой оптимизации режима эксплуатации подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика / Под ред. Р.В. Арутюняна, М.: Наука, 2010. 329 с.
2. Лам В.Х.-К., Лисенков А.Б., Лаврушин В.Ю. Условия формирования подземных вод в дельте Меконга (Социалистическая республика Вьетнам) по данным изучения изотопного состава кислорода и водорода // Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 1. С. 42–48.
3. Лам В.Х.-К.; Определение происхождения подземных вод дельты Меконга // Международная научно-практическая конференция «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее» (к 100-летию МГРИ–РГГРУ), 4–6 апреля, М., 2018. С. 208–209.
4. Лам В.Х.-К. Определение характеристики динамики подземных вод среднеплиоценового водоносного горизонта (n_2^3) в дельте Меконга // Международная научно-практическая конференция «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее» (к 100-летию МГРИ–РГГРУ), 4–6 апреля, М., 2018. С. 234–235.
5. Суздальский О.В., Слободин В.Я., Лев О.М. Реконструкция уровней арктических палеобассейнов на основе анализа комплексов бентосных организмов // Колебания уровня Мирового океана в плейстоцене. Л., 1975. С. 43–48.
6. Bui T.V., Phan N.L., Le H.N. Project «Assessment of the impact of climate change to groundwater in Mekong delta, proposed solutions to respond» Report № 14. Hochiminh, 2013. P. 26–28. (In Vietnam).
7. Doan V.C., Underground water in Nambo plain: challenges and solutions // Journal of water resources science and technology, Vietnam academy for water resources. 2013. Issue 14. P. 56–58. (In Vietnam).
8. Vu V.N., et al. Groundwater in Nambo plain. Hanoi, Department of Geology and Mineral Vietnam, 1998. 66 p. (In Vietnam).
9. Ha Q.H. Flandrian transgression and imprint leave in Mekong Delta // Department of Environment, Ho Chi Minh University of Natural Sciences. 10.04.2017. 1 p. (In Vietnam).
10. IAEA Water Resources Program; V2.02 September 2014. http://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/IHS_resources_sampling.html. дата обращения 15/09/2018 г.
11. Lam H.Q.V. Application of isotopic hydrological to study groundwater dynamics of Pliocene aquifer in Mekong Delta. Hochiminh university of technology, Vietnam national university. Hochiminh, 2016, P. 29–30. (In Vietnam).
12. Nguyen D.T., Lam H.Q.V. Using isotope hydrology method to determine the origin of ground water sources in the middle-Pliocene aquifer in the Mekong Delta, Vietnam // International conference on clean water, air & soil (CleanWAS2017). 25–27 August 2017. Bangkok, Thailand, 2017. P. 9–12.
13. Truong X.L. Geostatistical application. Hanoi, Transport Publishing House Company Limited. 2010. P. 184–189. (In Vietnam)

REFERENCES

1. Demyanov V.V., Savelieva E.A. Geostatistics theory and practice. Ed. R.V. Arutyunyan. M., Moscow Science, 2010, pp. 152–154. (In Russian)
2. Lam V.H.-K., Lisenkov A.B., Lavrushin V.J. Forming condition of groundwater in the Mekong delta based on isotopes hydrology oxygen and hydrogen. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]*. 2018, no. 1, pp. 42–48. (In Russian)
3. Lam V.H.-K. Determination of the origin of groundwater in the Mekong Delta. *International research and practice conference «Strategy of geological exploration of ineral resources: present and future»*, M., 2018, pp. 208–209. (In Russian)
4. Lam V. H.-K. Determination of the dynamical characteristics of groundwater of the mid-Pliocene aquifer (n_2^3) in the Mekong Delta. International research and practice conference «Strategy of geological exploration of ineral resources: present and future», M., 2018, pp. 234–235. (In Russian)

5. Suzdalsky O.V., Slobodin V.J., Lev O.M. Reconstruction of the Arctic paleobasins levels based on the analysis of complexes of benthic organisms. *Fluctuations in sea level during the Pleistocene*. L., 1975, pp. 43–48. (In Russian)
 6. Bui T.V., Phan N.L., Le H.N. *Project «Assessment of the impact of climate change to groundwater in Mekong delta, proposed solutions to respond» Report № 14*, Hochiminh, 2013, pp. 26–28. (In Vietnam)
 7. Doan V.C., *Underground water in Nambo plain: challenges and solutions*. *Journal of water resources science and technology*. Vietnam academy for water resources, 2013, Issue 14, pp. 56–58. (In Vietnam)
 8. Vu V.N., et al. *Groundwater in Nambo plain*. Hanoi, Department of Geology and Mineral Vietnam. 1998, 66 p. (In Vietnam)
 9. Ha Q.H., *Flandrian transgression and imprint leave in Mekong Delta*. Department of Environment, Ho Chi Minh University of Natural Sciences. 10.04.2017, pp. 1–4 (In Vietnam)
 10. IAEA Water Resources Program; V2.02 September 2014. http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_sampling.html, дата обращения 15/09/2018 г.
 11. Lam H.Q.V. Application of isotopic hydrological to study groundwater dynamics of Pliocene aquifer in Mekong Delta. *Hochiminh university of technology, Vietnam national university*. Hochiminh, 2016, pp. 29–30. (In Vietnam)
 12. Nguyen D.T., Lam H.Q.V. Using isotope hydrology method to determine the origin of ground water sources in the middle-Pliocene aquifer in the Mekong Delta, Vietnam. *International conference on clean water, air & soil (CleanWAS2017)*. Bangkok, Thailand, 2017, pp. 9–12.
 13. Truong X.L. *Geostatistical application*. Hanoi, Transport Publishing House Company Limited, 2010, pp. 184–189. (In Vietnam)
-

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

УДК 622.06

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕКУЩИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ
В ЗАКЛАДОЧНОМ ПРОЦЕССЕ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ, С.В. ИЛЯХИН

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: bos.rggru@mail.ru, isv11@mail.ru*

Установлено, что в зависимости от величины концентрации тиксотропной смеси, содержания и свойств минерального вещества тонких классов, закладочная смесь на основе текущих хвостов может быть представлена средой со слабо или сильно выраженными вязкопластичными свойствами. С повышением доли содержания тонких классов, что характерно для текущих хвостов, сопротивления движению смесей в трубах резко усиливаются. Для снижения затрат энергии и повышения надежности гидротранспортирования от закупорок в высокоплотные закладочные смеси требуется вводить специальные добавки, разрушающие коагуляционные структуры. При этом сопротивления снижаются в несколько раз. Использование тиксотропных свойств закладочных смесей делает возможным получение закладки, обладающей высокими прочностями и упругими характеристиками при наиболее полном использовании активности вяжущего компонента. Кроме того, тиксотропные смеси обладают необходимой для трубопроводного транспорта подвижностью при значительном (до 2—3 раз) снижении расхода воды. Расход вяжущего компонента при этом уменьшается на 20—22%. Один из радикальных способов утилизации тонкодисперсных хвостов достигается при использовании не только в закладочном процессе, но и для различных хозяйственных нужд.

Ключевые слова: закладочный процесс; отвальные хвосты; текущие хвосты обогащения; твердеющие смеси; пористость; концентрация и крупность твердеющего компонента; вязкопластичные свойства; водовязущий показатель; коагуляционные структуры; тиксотропные свойства.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-66-76

EXPEDIENCY OF THE USING OF THE CURRENT TAILINGS
IN THE STOWAGE PROCESS OF MINING ENTERPRISES

O.S. BRYUHOVECKIJ, S.V. ILYAHIN

*Russian State Geological Prospecting University
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
email: bos.rggru@mail.ru, isv11@mail.ru*

It has been discovered, that depending on the concentration of the thixotropic mixture, the content and properties of the mineral substance of thin classes, the filling mixture based on the current tailings can be represented by a medium with weakly or strongly expressed viscoplastic properties. With an increase of the content of thin classes, which is typical for the current tailings, the resistance to movement of mixtures in pipes sharply increases. To reduce energy costs and improve the reliability of hydrotransportation from blockages, special additives are required to be add

into the high-density filling mixtures, which destroy coagulation structures. In this case, the resistance is reduced several times. The use of the thixotropic properties of the filling mixtures makes it possible to obtain a stowage with high strengths and elastic characteristics with the most complete use of the activity of the astringent agents (binding component). In addition, thixotropic mixtures possess mobility necessary for pipeline transport with a significant (up to 2–3 times) decrease in water consumption. The consumption of the astringent agent is reduced by 20–22%. One of the radical ways to dispose of the fine tailings is achieved by using them not only in the filling (stowing) processes, but also for various household needs.

Keywords: filling (stowing) process; dump tailings; current tailings of enrichment; hardening mixtures; porosity; concentration and size of the hardening component; viscoplastic properties; water binding indicator; coagulation structures; thixotropic properties.

Известное требование ресурсосбережения при обострении экологической обстановки в регионах с действующими горно-металлургическими и топливно-энергетическими предприятиями обращает внимание специалистов к проблеме утилизации хвостов. Наибольшие трудности в её решении возникают для текущих хвостов руд, особенно с учётом нужды собственного горного производства по хвостохранилищам.

Рудные хвосты широко используют в качестве сырьевого источника закладочных материалов в виде так называемых отвальных хвостов. Повышенная ценность их заметно повлияла на масштабы использования таких хвостов, которые заменяют промпродуктами вторичной их переработки, т. е. текущими хвостами.

Переход на стадийную флотацию руд цветных металлов, повышающаяся ценность техногенных образований в хвостохранилищах, подлежащих вторичной переработке, вносят существенные изменения в качество этого источника закладочных материалов, особенно для способов закладки с твердеющими добавками.

Научными исследованиями [4] подготовлен определённый задел для отработки ряда технологических приёмов использования текущих хвостов, позволяющих существенно снизить ресурсозатратный фактор в горно-обогательном цикле металлургического производства и получить природо-охранный эффект, учитывающий возможности консервации хвостов в подземных выработках. Рассмотрим некоторые проблемные вопросы в данной области.

По дисперсному составу текущие хвосты современных процессов флотации можно характеризовать как содержащие частицы класса -74 мк до 70–80 %, а часто и 95 %.

Содержание твёрдого компонента в гидросмеси по весу составляет 25–35%, при этом содержание класса частиц крупностью -40 мкм достигает 60%. Требуется предварительная подготовка таких хвостов: сгущение, обезвоживание и нейтрализация тонких классов в связи с требованиями повышенной водоотдачи и недопущения сегрегации цемента, например, при гидравлической твердеющей закладке. Закладочные смеси по условиям использования цемента и недопущения обводнения выработок должны иметь минимум содержания воды.

По вещественному составу твёрдой фазы хвосты могут быть в виде осадочных, метаморфизованных или кристаллических разностей минералов, частицы которых в разной степени обладают гидрофильными или гидрофобными свойствами.

Характерно, что классы в таких смесях при разных, но всегда высоких концентрациях, вызывают появления в хвостах реологических свойств.

С учётом особенностей вещественного состава твёрдой фазы основной вклад в появление реологических свойств вносят тонкие классы частиц крупностью меньше 20–40 мкм. В то же время опыт показывает [2, 3], что при ограничении их содержания в смеси, например, меньше 30% влияние на появление реологических свойств в гидросмеси ослабевает.

Поэтому в практике закладочных работ при использовании любых хвостов всегда вводится ограничение на содержание тонких классов. С этой целью при классификации выделяют большую часть шламов. На отдельных горных предприятиях применяют для этого не только одно- и двухстадийную, но даже трехстадийную классификацию при одновременном доизвлечении полезного компонента. Содержание тонких классов доводится обычно до 15–25%.

Заметим, что среди специалистов распространено мнение о благоприятном влиянии тонких классов грунтов и измельченных пород на закладочный процесс, что следует из оценки опыта использования хвостов со значительным (десятки %) содержанием карбонатных пород (обычно CaO) [1].

Анализ практики гидрозакладочных работ, в том числе с твердеющими смесями на основе классифицированных хвостов показал, что общую оценку их пригодности по крупности можно дать на основе соотношения [4]:

$$A = 125 \sqrt{\frac{d_r}{d_m}}, \%$$

где A — граничное содержание класса заполнителя меньше d_r ; d_r — граничный размер фракции материала, требующий регулирования по содержанию, мм; d_m — максимальный граничный размер класса с содержанием не превышающим 5–10%.

Величина d_r по различным данным зависит от вещественного состава материала и ряда физи-

ко-механических свойств вмещающей его среды, принимается равной 0,02—0,025 мм, а в отдельных случаях и больше (0,04). Обычно в хвостах максимальный граничный размер можно принять около 0,5 мм. Тогда содержание класса меньше 0,02—0,025 мм, согласно формуле, не должно быть больше 25%, что и соответствует общепринятому стандарту.

В связи со стремлением интенсифицировать закладочный процесс особо выделяется проблема дренажа воды из массивов с хвостами, доставляемыми в виде обычных и твердеющих смесей. Надлежащее техническое решение дренажа заметно влияет на технологию, а достигнуть его можно лишь подбором фракционного состава хвостов или разумным использованием флокулянтов, даже при работе на классифицированных хвостах.

Качество дренажа определяется пористостью закладочного массива. Экспериментальные материалы для различных песков и хвостов показывают, что значения величины пористости в массиве находятся в пределах $0,35 \leq \varepsilon \leq 0,44$ [2].

Поскольку при намыве массива происходит естественное расслоение смеси, то значения пористости оказываются разными в различных его зонах, что вызывает так называемую нестационарную фильтрацию воды. Практически редко допускается скорость фильтрации в подземных условиях меньше 1—3 см/ч. Для получения достаточно короткого цикла закладки стремятся иметь скорости фильтрации, равные 10 см/ч и более.

На фильтрационный режим существенное влияние оказывают концентрации смеси, пористость возведенного массива и площадь фильтрации. Причём между скоростью и площадью фильтрации существует обратная зависимость. Она подтверждает характерные для практики наблюдения, например, в больших по объёму полостях (при площадях фильтрации в несколько сотен и тысяч квадратных метров) допустима относительно небольшая скорость фильтрации — порядка нескольких сантиметров в час. Поэтому следует стремиться к поддержанию возможно более высокой плотности смеси и учитывать особенности условий фильтрации.

Добавление небольшого количества цемента или другого вяжущего компонента не изменяет существенным образом пористости сыпучего заполнителя, однако, как и наличие тонких классов (обычно с содержанием фракции < 0,04 мм — 60%), присутствие цемента может активизировать образование коагуляционных структур. Особенность взаимодействия цемента с водой состоит в том, что при её избытке происходит одновременно сегрегация цемента, которая снижает эффективность его использования.

Другим фактором, определяющим целесообразность использования текущих хвостов в закладочном процессе, является их поведение в массиве.

Анализ обширных опытных данных по использованию даже классифицированных хвостов в ка-

честве закладочных материалов свидетельствуют, что при концентрациях твёрдого компонента 0,65—0,7, вследствие водоудерживающего эффекта, приемлемая прочность массива (0,7—1,8 МПа) достигается при расходе цемента 12—14% по весу от твёрдой массы, в то время как при концентрациях 0,8—0,85 эти значения получают при 4—6% (в возрасте 28 дней).

Поэтому особый интерес вызывает использование в качестве основного компонента закладочной смеси текущих хвостов, сгущенных до 20% содержания воды.

Здесь уместно остановиться на разработанной нами технологии закладочных работ на основе тиксотропных смесей [5].

Научной основой новой технологии послужило понимание процессов взаимодействия частиц заполнителя, вяжущего и воды с точки зрения физико-химической механики дисперсных систем. Закладочная смесь является типичной дисперсной системой. Твёрдый скелет в смеси образован агрегатами заполнителя, промежутки между которыми заполнены раствором вяжущего компонента, в целом такую смесь можно считать гелем. В очень хорошей по качеству смеси раствор заполняет все промежутки в скелете из агрегатов, в связи с чем образуется единая твердая структура по всему объёму закладки. С точки зрения реологии закладочная смесь может рассматриваться как непрерывная среда в пределах всего объёма. В то же время закладочную смесь можно рассматривать и как коагуляционную структуру, возникающую под действием молекулярных вандерваальсовских сил сцепления частиц, взвешенных в жидкой среде суспензии. Такие структуры в сравнении с кристаллизационными обладают малой прочностью, пониженной остаточными тонкими прослойками жидкой среды в местах контакта между сцепляющимися твёрдыми частицами. Вместе с тем коагуляционные структуры обладают тиксотропными свойствами, т. е. способны к обратимому восстановлению. Это обратимое превращение происходит под влиянием механических воздействий и обуславливается нарушением структурных связей закладочных смесей. При наложении механических воздействий система «разжижается», и тем сильнее, чем значительно деформируется при этом коагуляционная структура. При этом огромное число частиц закладочной смеси приходит в интенсивное броуновское движение и вместо традиционного механического перемешивания инертного материала с цементом происходит физико-химическое распределение частиц вяжущего в закладочной смеси, подобно ионам соли в растворе. Кроме того, при соударении частиц цемента с их поверхности удаляются продукты диспергирования и перекристаллизации, обнажая при этом все новые поверхности для взаимодействия с водой, что способствует образованию кристаллической структуры искус-

ственного массива и более полной гидратации цемента.

Такое обратимое разрушение структуры с переходом в текучее состояние при механических воздействиях и самопроизвольное восстановление структуры в покое называется тиксотропией. Закладочная смесь как коагуляционная система характеризуется рядом физико-механических свойств. Её формирование начинается сразу же после затворения закладочного материала водой и продолжается в течение определенного времени, в пределах которого подготавливается переход закладочных смесей (упруго-пластичной вязкой системы) в твёрдое кристаллическое тело. Количество воды, при котором формируется связанная коагуляционная структура закладочной смеси, определяется адсорбционной способностью закладочного материала и зависит от его минерального состава, дисперсности, вида и количества добавок, введённых в закладочную смесь. Минимальное количество воды, необходимое для образования коагуляционной структуры, соответствует максимальной влагоёмкости закладочного материала. Способность закладочной смеси удерживать определённый объём воды зависит от сил взаимодействия между частицами. Чем плотнее расположены частицы, тем меньше ячейки структурной пространственности сетки и прочее удерживается в ней вода. Если частицы раздвинуты так, что они уже не способны взаимодействовать одна с другой, структурная сетка разрушается, и закладочная смесь отслаивает воду.

В качестве примера осуществления гомогенизации закладочной смеси, в результате которой тиксотропная смесь переходит в состояние золя, можно рассматривать работу активатора-взвихривателя, описанного в [5]. Механические воздействия на тиксотропную смесь превышают силу сцепления между водяными плёнками и частицами, водяные плёнки отрываются от частиц и смесь переходит в состояние золя. В такой смеси происходит физико-механическое перемешивание компонентов, обеспечивающее её высокую однородность и полное использование цемента.

Известно, что содержание в закладочной смеси большого объёма шламистых частиц при традиционной технологии приготовления и транспортирования с относительно большим количеством воды обуславливает резкое снижение прочности даже при повышенном расходе вяжущего компонента, так как шламистые частицы наполнителя (в нашем случае текущие хвосты обогащения), обволакивая агрегативные зерна вяжущего компонента, коагулируют, образуя комки. Кроме того, при транспортировании и укладке происходит старение и расслаивание смеси. Эти факторы и являются в основном причиной резкого ослабления прочности искусственного массива.

Особенностью технологии закладочных работ на основе тиксотропных смесей является возможность применения тонкомолотого заполнителя,

что позволяет использовать для закладки всю массу хвостов обогащения. Кроме того, принимаемая к использованию дисперсная часть хвостов обогащения, т. е. шламы, которые выполняют роль пластификатора, снижая напряжение сдвига, благоприятствуя сокращению износа трубопровода, и могут использоваться как добавка к вяжущему компоненту за счёт эффекта раздвижки зёрен. Этот эффект заключается в том, что после механического разукрупнения зёрен цемента, следовательно, увеличения активной поверхности цементирующего вещества, наличие шламовой фракции препятствует обратному их воссоединению.

Активация цемента, которая происходит при этом, позволяет исключить ещё один недостаток, связанный с тем, что значительная часть зёрен цемента имеет размеры больше 30 мкм. Это не позволяет при традиционной технологии использовать полностью их активность, так как такие зёрна гидратируют только с поверхности, причём толщина слоя гидратации после 6 мес. твердения не превышает 15 мкм [4].

Использование тиксотропных свойств закладочных смесей делает возможным получение закладки, обладающей высокими прочностными и упругими характеристиками при наиболее полном использовании активности вяжущего компонента. Кроме того, тиксотропные смеси обладают необходимой для трубопроводного транспорта подвижностью при значительном (до 2—3 раз) снижении расхода воды. Расход вяжущего компонента при этом уменьшается на 20—22%.

Дадим оценку параметрическим возможностям трубопроводного транспорта тонкодисперсных хвостов. В зависимости от величины концентрации смеси, содержания и свойств минерального вещества тонких классов, закладочная смесь из хвостов может быть представлена средой со слабо или сильно выраженными вязкопластичными свойствами (рис. 1, 2). В первом случае гидросмеси перемещаются как однородные жидкости повышенной плотности и вязкости в характерных для них турбулентных режимах течения потоков. Во втором случае — как вязкопластичные гидросмеси.

Существуют критические значения концентрации и граничные значения скорости движения потоков смесей, при которых псевдовязкие смеси приобретают свойства псевдовязкопластичных. Для условий цветной металлургии критические значения весовых концентраций лежат в пределах 0,6—0,7. Режимы гидротранспортирования смесей в зоне концентраций менее критических наиболее благоприятны как по затратам энергии, так и по технологическим параметрам транспорта (надёжность и повышенные дальности перекачки, маневренность при эксплуатации транспортных систем). Неблагоприятными факторами являются: ухудшение условий использования вяжущего компонента, повышенный водовязущий показатель, потери вя-

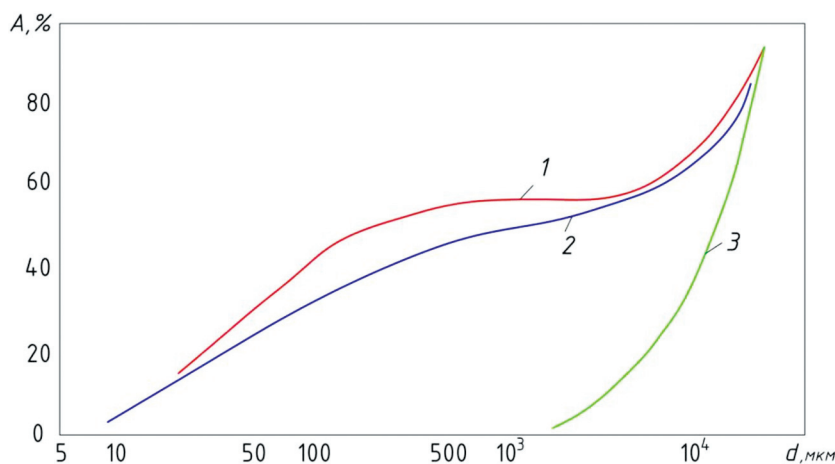


Рис. 1. Графики $A(d)$ гранулометрического состава для закладочных смесей: 1 и 2 – закладочные смеси из хвостов разного вещественного состава и пустых пород с соотношением 1:1; 3 – смеси из пустых пород; d – крупность частиц; A – содержание частиц

жущего компонента в дренажной системе. При дальнейшем повышении концентрации режимы течения определяются реологическими свойствами с повышенными гидравлическими сопротивлениями и менее благоприятны по факторам надёжности, износа, дальности подачи, затрат энергии и др.

С повышением доли содержания тонких классов, что характерно для текущих хвостов, сопротивления движению смесей в трубах резко усиливаются. По экспериментальным данным при повышении концентрации в таких смесях с 0,7 до 0,78 потери напора повышаются на порядок почти с полной потерей текучести [6].

Для снижения затрат энергии и повышения надёжности гидротранспортирования от закупорок в высокоплотные закладочные смеси требуется вводить специальные добавки, разрушающие коагуляционные структуры. При этом сопротивления снижаются в несколько раз.

Итак, в условиях использования в закладочном процессе текущих хвостов руд наиболее очевидная область их использования – это погашение подземных выработок и пустот в массивах горных пород, заиливание обрушенных пород в зонах, опасных по возникновению эндогенных пожаров и произвольных обрушений. Гидросмеси из текущих хвостов, при концентрациях твёрдой фазы меньше критических значений по фактору проявления реологических свойств, благоприятны для перекачки по трубопроводам на значительные расстояния и по трассам самой различной конфигурации. Для освоения указанных способов закладки потребуются нетрадиционные технические решения.

В ограниченных масштабах текущие хвосты в современной практике используют в закладочном процессе в виде присадок к другим инертным материалам для твердеющих смесей (аллювиальные пески, дробленые породы отвалов, подземных горных выработок).

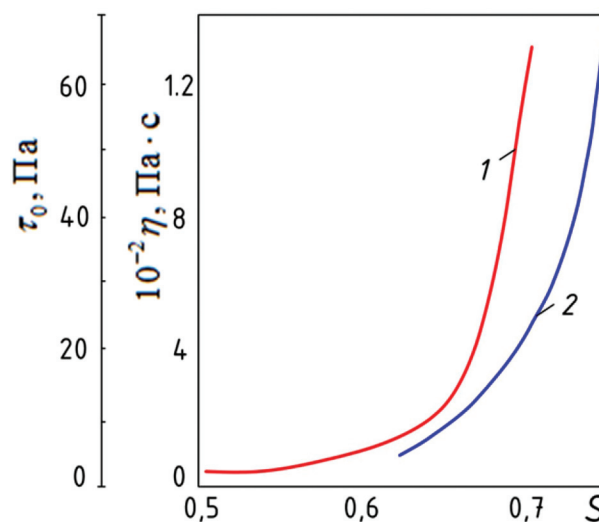


Рис. 2. Графики $\eta(s)$ и $\tau_0(s)$ для хвостов крупностью $d \leq 34-40$ мкм при изменении весовой концентрации гидросмеси S в пределах 0,5–0,75; 1 – $\eta(s)$ и 2 – $\tau_0(s)$, где η – структурная вязкость, τ_0 – начальное напряжение сдвига

Эти технические решения не гарантируют полного использования текущих хвостов, исключая хвостовое хозяйство фабрик. Один из радикальных способов утилизации тонкодисперсных хвостов достигается при их окомковании с подготовкой гранул или брикетов, которые можно использовать не только в закладочном процессе, но и для различных хозяйственных нужд.

Резкое изменение конъюнктуры на рынке вяжущих и кондиционных строительных материалов создает определенные препятствия для широкого применения этого эффективного способа закладки. Поэтому первостепенное значение в настоящее время имеет освоение малоцементных и бесцементных способов закладки с использованием наиболее доступных сырьевых источников текущих хвостов и отсевов отвальных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюховецкий О.С. Гидравлическая теория транспортирования частиц горных пород в трубопроводах//Сб. научных докл. «Комплексное освоение месторождений твёрдых полезных ископаемых». В. 1. М.: Недра, 1991. С. 63–76.
2. Брюховецкий О.С. Рудничный напорный гидравлический транспорт горной массы: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2018, 196 с.: ил.
3. Брюховецкий О.С., Иляхин С.В., Карпиков А.П., Яшин В.П. Основы горного дела: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2017. 352 с.: ил.
4. Брюховецкий О.С., Смолдырев А.А. Актуальные задачи деформационных процессов в массивах горных пород при разведке и разработке рудных месторождений. Отчёт по НИР, МГГА, М., 1998. 37 с.
5. Брюховецкий О.С., Томских А.А., Левчук А.И. Усовершенствование и внедрение технологии закладочных работ на основе тиксотропных смесей с использованием активатора-взвихривателя на руднике «Каульды». Отчёт по НИР., М.: МГРИ, 1989. 73 с.
6. Смолдырев А.Е. Технология и механизация закладочных работ. М.: Недра, 1974. 328 с.

REFERENCES

1. Bryukhovetskiy O.S. The hydraulic theory of transportation of particles of rocks in pipelines. *Collection of scientific reports «Complex development of fields of solid minerals»*, vol. 1, M., Nedra Publ., 1991, pp. 63–76. (In Russian).
2. Bryukhovetskiy O.S. *Mining pressure hydraulic transport of mountain mass*: Saint-Petersburg: Publishing house «Lan», 2018, 196 p. (In Russian).
3. Bryukhovetskiy O.S., Ilyakhin S.V., Karpikov A.P., Yashin V.P. *Fundamentals of mining*, Saint-Petersburg: Publishing house «Lan», 2017, 352 p. (In Russian).
4. Bryukhovetskiy O.S., Smoldyrev A.A. *Actual problems of deformation processes in rock mass during exploration and development of ore deposits*, M., MGGA, 1998, 37 p. (In Russian).
5. Bryukhovetskiy O.S., Tomskikh A.A., Levchuk A.I. *Improvement and implementation of backfilling technology based on thixotropic mixtures using an activator-sprinkler at the Kauldy mine*. *MGRI-RGGRU*, M., 1989, 73 p. (In Russian)
6. Smoldyrev A.E. *Technology and mechanization of backfilling*, M., Nedra Publ., 1974, 328 p. (In Russian).

УДК 622.02; 622.831.32

ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПО ПРОГНОЗУ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КИТАЯ

ЛАНЬ ТЯНЬВЭЙ^{1,2,3}, ЧЖАН ХУНВЭЙ^{1,3}, ЛИ ШЭН^{1,3}, А.С. БАТУГИН^{3,4},
ЧЖАО ВЭЙГО^{1,5}, ЛИ ЦЯН^{1,5}, СУНЬ ЦЗЮЧЖЭН^{1,5}

¹Ляонинский инженерно-технический университет, Институт горного дела
47, Джонхуа ул., г. Фусинь 123000, провинция Ляонин, КНР
email: ltw821219@163.com

²Китайский горный университет, Государственная лаборатория угольных ресурсов и безопасности добычи
1, Даксю ул., г. Суйчжоу 221116, провинция Цзянсу, КНР

³Ляонинский инженерно-технический университет,
Центр инженерных исследований по безопасной добыче и утилизации угля
47, Джонхуа ул., г. Фусинь 123000, провинция Ляонин, КНР
email: ltw821219@163.com

⁴НИТУ МИСиС, Горный институт
4, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
email: as-bat@mail.ru

⁵Акционерное общество «Угольная компания "Шуан-Яшань"
240, Синсин ул., г. Шуан-Яшань 155100, провинция Хэйлуцзян, КНР

Метод геодинамического районирования прошел в Китае три периода своего развития: «становление», «развитие» и «инновации». С его помощью созданы модели, связывающие блочные структуры тектонических плит земной коры и полей угольных шахт. Разработана программа расчетов напряженного состояния массива горных пород, учитывающая данные геодинамического районирования. Разработана модель многофакторного распознавания и прогноза геодинамической опасности при ведении горных работ. Представляется, что для реализации геодинамических явлений необходимо выполнение определенных условий в окружающем массиве, в связи с чем установлены индексы и методы оценки этих условий. Для исследования связи

между энергией и размерами участвующей в этом процессе части массива, создана модель и выявлены условия разрушения. На примерах конкретных шахт показана эффективность метода распознавания мест повышенной геодинамической опасности. Для полей шахт Юэ Цзинь и Джинси выявлены опасные, угрожаемые и неопасные участки по проявлению внезапных выбросов угля и газа и горных ударов. Профилактические мероприятия для повышения геодинамической безопасности при ведении горных работ рекомендуется применять на основе данных производимых прогнозов.

Ключевые слова: метод геодинамического районирования; геодинамическая опасность, горный удар, внезапный выброс, геодинамические условия; прогноз опасности, распознавание образов.

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF THE METHOD OF GEODYNAMIC ZONING FOR FORECASTING THE GEODYNAMICAL DANGER AT COAL MINES OF CHINA

LAN TIANWEI^{1,2,3}, ZHANG HONGWEI³, LI SHENG³, A.S.BATUGIN^{3,4},
ZHAO WEIGUO^{1,5}, LI QIANG^{1,5}, SUN SUJAN^{1,5}

¹Liaoning University of Science and Technology, Mining Institute
47, Zhonghua Road, Fuxin city 123000, Liaoning Province, China
email: ltw821219@163.com

²China University of Mining and Technology State laboratory for coal resources and risk free coal mining;
1, Daxue Road, Xuzhou 221116, Jiangsu province, China;

³Liaoning University of Science and Technology,
Centre of Engineering Research on Risk Free Recovery and Use of Coal
47, Zhonghua Road, Fuxin city 123000, Liaoning Province, China
email: ltw821219@163.com

⁴National University of Science and Technology «MISIS»
6, Leninsky Prospekt, Moscow 119049, Russia
email: as-bat@mail.ru

⁵Joint-Stock Company «Coal Company “Schuan-Yaschan”»
240, Xinxing st., Schuan-Yaschan 155100, Heilunjiang province, China

The method of geodynamic zoning experienced in China three periods of its development: «formation», «development», and «innovation». With the help of this method, the models were created linking the block structures of the crustal tectonic plates and coal minefields. A program for calculating the stress state of the rocks massif was developed, taking into account the data on geodynamic zoning. A model of multifactorial recognition and forecasting of the geodynamical danger was developed. The realization of the geodynamical danger in minefields is assumed to demand elaboration of the special conditions in the bearing massif, that's why the indexes and methods for the estimation of these conditions were determined. For the investigations of the connection between the energy of a rock burst and the size of the massif area involved in this process, the corresponding model was created and the conditions of the outbursts were determined. The effectiveness of the method of the recognizing the areas of the increased geodynamic danger was provided with the examples of the particular mines. For the Yue Jin and Jingxi minefields, the outbursts and rockbursts dangerous, threatened, and non-dangerous areas were identified. The application of the preventive measures for the increasing the geodynamic safety in mining is recommended to have to be based on the results of the forecast.

Keywords: method of geodynamic zoning; geodynamical danger; rockburst; blowing; geodynamical conditions; danger forecast; pattern recognition.

О методе геодинамического районирования

В конце 1970-х гг. российские ученые И.М. Батугина и И.М. Петухов разработали и представили метод геодинамического районирования [4]. Основной целью этого метода было районирование участков земной коры по степени геодинамической опасности. Начала складываться новая наука о геодинамических процессах, происходящих в массиве

горных пород в результате взаимодействия природной (геодинамической) и технической систем [3]. В 1980- и 1990-е гг. проводились исследования не только на рудных и угольных удароопасных месторождениях, но и впервые на месторождениях углеводородов, площадках инженерных сооружений, трассах трубопроводов [1, 5]. В 1989 г. метод геодинамического районирования пришел в Китай. Профессора Ляонинского инженерно-техническо-

го университета Дуань Кэсинь и Чжан Хунвэй в сотрудничестве с И.М. Петуховом, И.М. Батугиной проводили исследования по геодинамическому районированию и прогнозу горных ударов сначала на шахтах Бэйпяо [2, 7], а затем и на других месторождениях Китая (Хуа Инань, Пин Диншань, Има, Датун, Хэ Бин, Хэ Ган, Фу Синь, Нань Пяо, Синь Вэнь и др.) [10, 11].

Развитие исследований по геодинамическому районированию в Китае

В развитии исследований по геодинамическому районированию в Китае можно выделить три этапа. На *первом этапе* (с 1989 по 1995 гг.) метод геодинамического районирования только появился в Китае благодаря сотрудничеству с российским институтом горной геомеханики ВНИМИ и были выполнены первые исследования на угольных шахтах месторождения Бэйпяо [2, 7]. В это время в Китае началось формирование научной группы по исследованию геодинамического состояния месторождений и этот период можно назвать ранним в становлении метода геодинамического районирования в Китае.

На *втором этапе* (с 1996 по 2005 гг.) в Ляонинском инженерно-техническом университете был создан центр исследований по геодинамическому районированию, и этот период можно назвать зрелым в развитии метода геодинамического районирования в Китае. На основе данного метода разрабатывались программы по распознаванию образцов для шахтных полей, опасных по геодинамическим явлениям. Использование алгоритмов распознавания позволило выявлять для шахтных полей опасные, угрожаемые и безопасные районы, повысить уровень регионального прогноза геодинамических опасностей, обеспечить более безопасную добычу угля. В это время были выполнены важные государственные проекты «Региональный прогноз опасности выбросов угля и газа на месторождения Хуа Инань», «Региональный прогноз и борьба с выбросами угля и газа месторождения Хэ Бин» и др. Метод геодинамического районирования вошел в общую программу борьбы с горными ударами [6, 9, 13, 15].

На *третьем этапе* (с 2006 по 2015 гг.) была создана исследовательская группа по инновационному развитию метода геодинамического районирования для исследования вопросов геодинамики и геодинамических условий на шахтах. На этом этапе получены оценки геодинамического состояния горного массива и показатели геодинамической опасности, метод геодинамического районирования нашел широкое применение на угольных шахтах в Китае для прогноза и борьбы с горными ударами. Были выполнены работы на опасных месторождениях Има, Пин Диншань и многих других [8, 12, 14].

Развитие и инновация геодинамического районирования в Китае

Для того, чтобы произошло геодинамическое явление необходимо выполнение соответствующих геомеханических условий, которые зависят от ряда факторов. На разных месторождениях, в различных структурных условиях, в различных техногенных и природных полях напряжений геодинамические события имеют схожие черты. Хотя точно предсказать время, место и силу динамических явлений очень трудно, но тем не менее можно дать прогноз возможности (вероятности) появления события по месту.

На основе исследования районов возникновения геодинамических явлений был разработан метод оценки геодинамического состояния окружающего массива и показатели для соответствующей оценки его динамической опасности, а также показатели для оценки опасности внешнего воздействия на такой массив. Была создана модель, включающая данные о свойствах углей и горных пород, позволяющая обосновать критерий неустойчивости динамической системы и выявить механизм появления геодинамической опасности.

Практика ведения горных работ показывает, что возникновение опасных динамических явлений (горных ударов, внезапных выбросов) зависит от результатов совместного влияния геодинамических условий месторождения и характера ведения горных работ. Геодинамическая обстановка — необходимое условие возникновения опасных динамических явлений, а горные работы — достаточное условие.

Геодинамические факторы включают глубину добычи, тектонические поля напряжений, тектонические движения блоков, наличие активных разломов, свойства вмещающих пород, обстановку возникновения опасных динамических явлений на соседних участках шахтного поля (рис. 1). Участок относится к опасному по проявлению динамических явлений, если для трёх или более факторов достигаются критические значения.

Разделение района исследований на элементы, необходимые для использования метода распознавания образцов, проводилось на основе результатов исследований по геодинамическому районированию. С помощью изучения связи факторов, влияющих на опасность проявления динамических явлений, разработана модель для их регионального прогноза и установлен вероятностный критерий прогноза опасности. Анализ пространственных данных позволил разработать схему прогноза вероятности проявления опасных динамических явлений с выявлением трех категорий опасности для участков шахтного поля: опасный, угрожаемый и безопасный. Это существенно повышает качество прогноза и способствует безопасной отработке угольных пластов.

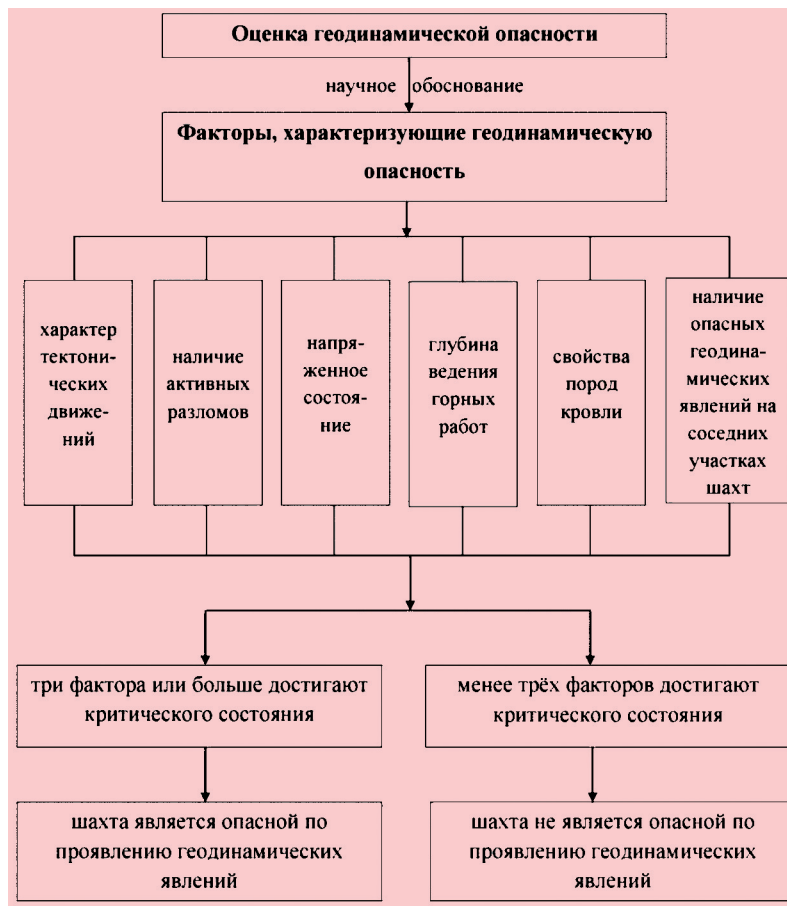


Рис. 1. Система показателей для оценки геодинамических условий

Разработка метода распознавания опасных участков по проявлению динамических явлений с научной точки зрения внесла свой вклад в развитие теории метода геодинамического районирования. С практической точки зрения это позволило повысить эффективность прогноза и впервые в Китае осуществить разделение шахтного поля на участки трёх категорий опасности.

Примеры применения метода геодинамического районирования в Китае

Исследования по прогнозу опасности внезапных выбросов угля и газа проводились на угольной шахте Юэ Цзинь. Для этой шахты выделены четыре основных фактора, влияющих на степень геодинамической опасности: наличие активных разломов, напряженное состояние горных пород, свойства пород кровли и выброшенный объём газа. На основе анализа данных об имевших место внезапных выбросах на этой шахте, в качестве критерия разделения участков на опасные, угрожаемые и безопасные были выбраны значения вероятности проявления внезапного выброса равные $K_{вв}$ 0,63 и $K_{вв}$ 0,32. Соответственно в пределах шахтного поля по результатам прогноза выделены три типа участков. Относительно неглубокая часть шахтного поля

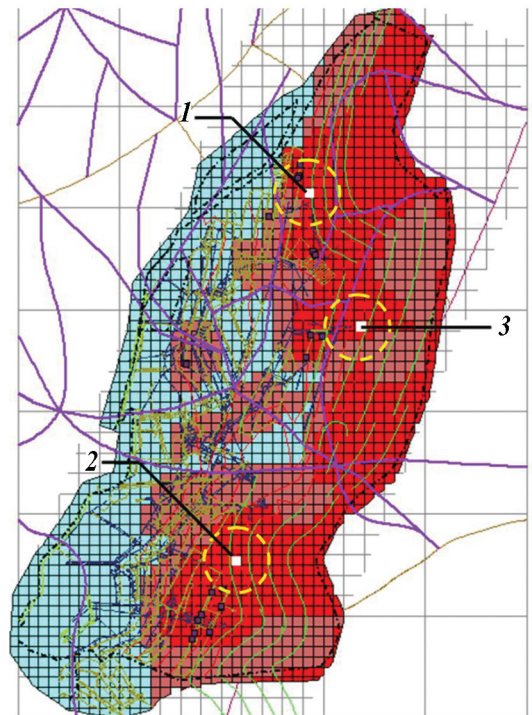


Рис. 2. Очаги внезапных выбросов угля и газа (1–3) расположенные в районах, для которых прогнозом установлена категория «опасно» (красный цвет)

Данные о внезапных выбросах угля и газа на шахте в период 2006—2008 гг.				
Номер п.п.	Дата	Место	Категория участка	Дополнительные сведения
1	06.03.2006	Забой 3402	Опасный	
2	17.06.2006	Забой 3105	То же	Выброшено 30 т угля
3	13.10.2008		"—"	Выброшено 400 т угля и 51583 м ³ газа

с $K_{ог} < 0,32$ была отнесена к безопасной, к угрожаемой области отнесены участки в пределах $0,32 < K_{ог} < 0,63$, а относительно глубокая часть шахтного поля отнесена к опасной — $0,62 < K_{ог} < 1,0$.

По данным наблюдений в 2006—2008 гг. на шахте произошло три внезапных выброса угля и газа, все они зафиксированы на участках шахтного поля, отнесённых по данным прогноза к категории «опасный» (рис. 2, таблица). Этот пример имел большое значение для проведения в дальнейшем профилактических мероприятий в опасных районах.

Аналогичные исследования, но уже по выявлению категории опасности участков шахтного поля по горным ударам, проведены на шахте Джинси. Здесь в качестве критерия разделения участков на опасные, угрожаемые и безопасные по горным ударам были выбраны значения вероятности $K_{гз}$ проявления горных ударов — $K_{гз} = 0,66$ и $K_{гз} = 0,43$. В пределах шахтного поля по результатам прогноза выделены три типа участков. К опасному району отнесены области, заполненные ячейками с вероятностью $K_{гз}$ проявления горного удара $0,66 < K_{гз} < 1,0$. К районам среднего уровня опасности (угрожаемые) отнесены области со значениями вероятности проявления горных ударов в диапазоне $0,43 < K_{гз} < 0,66$. К неопасному району — области с вероятностью проявления горных ударов $< 0,43$. Площадь опасного района по проявлению горных ударов составила 29% от общей площади шахтного поля, площадь района со средним уровнем опасности — 35% и площадь неопасного района — 36% (рис. 3).

Для опасных районов рекомендуется заблаговременное применение региональных профилактических мероприятий и планирование применения локальных профилактических мероприятий. Здесь необходим усиленный контроль за текущим определением степени опасности горных ударов во время ведения горных работ. Для района среднего уровня опасности необходимо применять ограниченные профилактические мероприятия, но в то же время контролировать достигаемый эффект. В неопасных по горным ударам районах горные работы можно вести без профилактических мероприятий, но при этом осуществлять контроль опасности.

Выводы

1. Метод геодинамического районирования в Китае прошёл три периода своего развития, которые можно назвать «становление», «развитие» и «инновации». На основе данного метода разрабо-

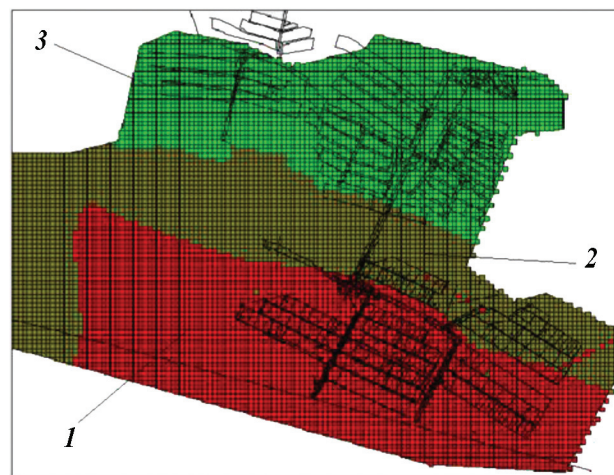


Рис. 3. Результаты прогноза опасности горных ударов на шахте Джинси: 1 — опасный район; 2 — район среднего уровня опасности; 3 — безопасный район

таны программа аналитического расчёта напряжённого состояния массива горных пород и программа GIS многофакторного распознавания образов для прогноза мест проявления геодинамически опасных явлений при ведении горных работ.

2. Разработана модель и метод оценки геодинамического состояния горного массива на основе учёта влияющих факторов, что используется для решения вопросов прогноза и борьбы с горными ударами и внезапными выбросами на угольных шахтах в Китае.

3. Методом распознавания образов с использованием разработанной модели оценки геодинамической опасности возможно выявление в пределах шахтных полей участков различной степени геодинамической опасности («опасный», «угрожаемый», «неопасный»), что имеет большое значение для повышения точности прогноза геодинамических явлений и планирования профилактических мероприятий по безопасности.

Работа выполнена при поддержке: Фонда национальных естественных наук КНР (51604139); Открытого исследовательского фонда государственной лаборатории безопасной добычи угольных ресурсов Китайского горного университета КНР (SKLCRSM18KF000); Фонда Государственного важнейшего исследовательского и планового проекта КНР (2017YFC0804209); Фонда отдела народного образования провинции Ляонин КНР (LJYL037); Открытого исследовательского фонда лаборатории безопасной добычи и утилизации угля провинции Ляонин КНР (LNTURCCRSMCU15KF09).

ЛИТЕРАТУРА

1. Батугин А.С., Батугина И.М., Болотный Р.А. К оценке геодинамического риска в мегаполисах // ГИАБ. 2013. № 6. С. 141–143.
2. Батугина И.М., Петухов И.М., Батугин А.С. и др. О геодинамическом районировании месторождения Бейпяо // Доклады 2-го Международного симпозиума по современным технологиям добычи угля. Фусин. (КНР), 1993. С. 274–277. (Китай).
3. Батугина И.М., Петухов И.М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. М.: Недра, 1988. 166 с.
4. Методические указания по профилактике горных ударов с учётом геодинамики месторождений. Л.: ВНИМИ, 1980. 138 с.
5. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. М.: Недра, 1996. 218 с.
6. Dou Linming, He Xueqiu. Monitoring rock burst by electromagnetic emission // Progress in Geophysics. 2005. 20(2): P. 427–431.
7. Duan Kexin, Zhang Hongwei, Peitukhof I.M. et al. Geodynamic division of Beipiao mining area and study on the prediction of mining dynamic phenomenon // Research Report, 1989. 192 p.
8. Lan Tianwei, Su Guangfu Han Jun, et al. Prediction of coal and gas outburst based on geodynamic division // China Safety Science Journal, 2010, 20(3). P. 46–50.
9. Qi Qingxin, Dou Linming. Theory and technology on mine pressure bumping. Xuzhou // China university of mining and technology, 2007. 15 p.
10. Zhang Hongwei, Batugina I.M. et al. Geodynamic division of coal and gas outburst regional prediction in Huainan mining area and visualization technology // Research Report, 2001. 100 p.
11. Zhang Hongwei, Duan Kexin, Zhang Jianguo, et al. Study on the regional prediction of mining dynamic phenomenon // Journal of China Coal Society. 1998. 42(4). P. 383–387.
12. Zhang Hongwei, Li Sheng, et al. Coal mine geodynamic division and study on the prediction of gas accident // Research Report, 2004. 120 p.
13. Zhang Hongwei, Li Sheng. Pattern recognition and possibility prediction of coal and gas outburst // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24 (19): pp. 3577–3581.
14. Zhang Hongwei, Song Weihua, et al. Coal mine geodynamic division // Research Report, 2011. 87 p.
15. Zhang Mengtao, Song Weiyuan, Pan Yishan. Study on water pouring into coal seam to prevent rock-burst // China Safety Science Journal, 2003. 13(10). P. 69–73.

REFERENCES

1. Batugin A.S, Batugina I.M., Bolotny R.A. To the assessment of geodynamic risk in megacities. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2013, no 6, pp. 141–143. (In Russian).
2. Batugina I.M., Petukhov I.M., Batugin A.S, et al. On geodynamic zoning of Beipiao deposits. *Proceedings of the 2nd international Symposium on modern coal mining technologies*. China, Fuxin Publ., 1993, pp. 274–277. (In China).
3. Batugina I.M., Petukhov I.M. *Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines*. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., 1990. 159 p. (Russ. ed.: Batugina I.M., Petukhov I.M. *Geodynamic zoning of mineral deposits for planning and exploitation of mines*, Moscow, Nedra Publ., 1988. 166 p. (In Russian).
4. *Geodynamic of the Earth Interior. Methodical instructions on the prevention of rockbursts taking into account the geodynamic conditions of deposits*. Leningrad, VNIMI, 1990. 138 p. (In Russian).
5. Petukhov I.M., Batugina I.M. *Geodynamic of the Earth Interior*. M., Nedra Publ., 1996. 218 p. (In Russian).
6. Dou Linming, He Xueqiu. Monitoring rock burst by electromagnetic emission. *Progress in Geophysics*, 2005, vol. 20, no 2, pp. 427–431.
7. Duan Kexin, Zhang Hongwei, Petukhof I.M., et al. Geodynamic division of Beipiao mining area and study on the prediction of mining dynamic phenomenon. *Research Report*, 1989. 192 p.
8. Lan Tianwei, Su Guangfu Han Jun et al. Prediction of coal and gas outburst based on geodynamic division. *China Safety Science Journal*, 2010, vol. 20, no 3, pp. 46–50.
9. Qi Qingxin, Dou Linming. *Theory and technology on mine pressure bumping*. Xuzhou: China university of mining and technology, 2007, 15 p.
10. Zhang Hongwei, Batugina I.M. et al. Geodynamic division of coal and gas outburst regional prediction in Huainan mining area and visualization technology. *Research Report*, 2001, 100 p.
11. Zhang Hongwei, Duan Kexin, Zhang Jianguo et al. Study on the regional prediction of mining dynamic phenomenon. *Journal of China Coal Society*, 1998, vol. 42, no 4, pp. 383–387.
12. Zhang Hongwei, Li Sheng, et al. Coal mine geodynamic division and study on the prediction of gas accident. *Research Report*, 2004, 120 p.
13. Zhang Hongwei, Li Sheng. Pattern recognition and possibility prediction of coal and gas outburst. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, vol. 24 no 19, pp. 3577–3581.
14. Zhang Hongwei, Song Weihua et al. Coal mine geodynamic division. *Research Report*, 2011, 87 p.
15. Zhang Mengtao, Song Weiyuan, Pan Yishan. Study on water pouring into coal seam to prevent rock-burst. *China Safety Science Journal*, 2003, vol. 13, no 10, pp. 69–73.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.8:553.08:53/54

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОБРАЗЦОВ МАГНЕТИТОВЫХ РУД В СВЯЗИ С ИХ ГЕНЕЗИСОМ
И МИНЕРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ
(на примере Гороблагодатского скарново-магнетитового месторождения)

В.В. БАХТЕРЕВ

*Институт геофизики УрО РАН
100, Амундсена ул., г. Екатеринбург 620016, Россия
e-mail: ugv@bk.ru*

Исследованы температурные зависимости электрического сопротивления (при постоянном и переменном напряжении частотой 1 кГц) образцов магнетитовой руды и магнетита из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами Гороблагодатского железорудного месторождения в интервале температур 20–800°C. Получены при 20°C частотные зависимости активного электрического сопротивления и диэлектрических потерь в диапазоне 0,01–100 кГц. Для магнетитовой руды и магнетита из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами в исследованных температурном и частотном диапазонах выявлена связь между электрическим сопротивлением (lgR) и диэлектрическими потерями ($lgtg\delta$). Характер связей различный, что позволяет однозначно разделить руду и магнетит. Установлены параметры высокотемпературной электропроводности (энергия активации E_0 и коэффициент электрического сопротивления lgR_0). Параметры исследованных образцов пироксен-ортоклаз-магнетитовых, гранат-магнетитовых, эпидот-хлорит-магнетитовых руд образуют прямую, как бы формируя её разные участки. Корреляционная связь между параметрами E_0 и lgR_0 образцов этих руд имеет вид $lgR_0 = 2,2–6,6 E_0$. Параметры образцов магнетита из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами также образуют прямую, как бы формируя её разные участки $lgR_0 = 2,1–6,6 E_0$. Установлено, что по мере удаления от интрузива электрические параметры образцов магнетитовой руды изменяются: увеличивается E_0 , уменьшается lgR_0 . Для магнетита из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами наблюдается обратная зависимость — по мере удаления от сиенит-порфиоров уменьшается E_0 , увеличивается lgR_0 . Выявлены температуры T_0 , при которых электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении для образцов гранат-магнетитовой руды с различным содержанием магнетита P , %. Установлена корреляционная связь между параметром T_0 и содержанием магнетита в руде $P(Fe_3O_4, \%) = 323,4 – 47,4 \ln(T_0)$, $R^2 = 0,93$.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Электрические параметры; постоянное и переменное напряжение; магнетит; магнетитовая руда; омическое и активное сопротивление; диэлектрические потери; частотная дисперсия.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-77-84

AN INTEGRATED STUDY OF THE ELECTRICAL PARAMETERS OF THE SAMPLES
OF MAGNETITE ORES IN RELATION TO THEIR GENESIS AND MINERAL COMPOSITION
(on the example of the goroblagodatskoe skarn-magnetite deposit)

BAKHTEREV V.V.

*Institute of Geophysics UB RAS
100, Amundsen street, Ekaterinburg 620016, Russia
e-mail: ugv@bk.ru*

The temperature dependences of electrical resistance (at DC and AC voltage at 1 kHz frequency) of the samples of the magnetite ore and magnetite from the contact of the syenite-porphiry with the volcanic-sedimentary rocks from the Goroblagodatskoye iron-ore deposit in the temperature range 20–800 °C have been studied. The frequency

dependences of the active electrical resistance and dielectric losses in the range 0,01—100 kHz have been obtained at 20 °C. For the magnetite ore and magnetite from the syenite-porphyrty contact with volcanogenic sedimentary rocks in the studied temperature and frequency ranges, the relationship between electrical resistance ($\lg R$) and dielectric losses ($\lg \delta$) has been revealed. The character of the relations is different, that allows to separate uniquely the magnetite ore and magnetite. The parameters of high-temperature conductivity (activation energy E_0 and electrical resistance coefficient $\lg R_0$) have been obtained. The parameters of the studied samples of pyroxene-orthoclase-magnetite, garnet-magnetite, epidote-chlorite-magnetite ores form a straight line, as if forming its different parts. The correlation between the parameters of E_0 and $\lg R_0$ samples of these ores has the following form: $\lg R_0 = 2,2 - 6,6 E_0$. The parameters of magnetite samples from the contact of syenite porphyry with volcanogenic-sedimentary rocks also form a straight line, as if forming its different parts, with the correlation form as following: $\lg R_0 = 2,1 - 6,6 E_0$. It has been found that with the increasing distance to the syenite intrusion, the electrical parameters of magnetite ore change: E_0 increases, $\lg R_0$ decreases. For magnetite from the contact of the syenite-porphyrty and volcanic-sedimentary rocks there is another picture — the further you are from the syenite-porphyrty, the smaller E_0 is, and the bigger the $\lg R_0$ is. The T_0 temperatures, at which the electrical resistance at the constant voltage becomes equal to the active resistance at the alternating voltage for the samples of garnet-magnetite ore with the different magnetite content, $P, \%$, have been revealed. The correlation between the T_0 parameter and the magnetite content in the ore, $P(\text{Fe}_3\text{O}_4, \%) = 323,4 - 47,4 \ln(T_0)$, $R_2 = 0,93$, has been established.

Keywords: electric parameters; high temperature; constant voltage; alternating voltage, magnetite; magnetite ore; ohmic and active electrical resistance; dielectric loss; frequency dispersion.

Гороблагодатское месторождение магнетитовых руд расположено в интенсивно дислоцированном вулканогенно-осадочном комплексе пород нижнего силура [8, 12, 16]. Базальты и их туфы, туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники и согласно залегающие с ними рудные тела пластообразной формы, полого погружаются в восточном направлении, образуя моноклираль. В южной части месторождения моноклираль ограничена крутопадающим контактом Кушвинской диорит-сиенитовой интрузии.

Становление плутонического комплекса сопровождалось прорывом рудоносной толщи субвулканическими образованиями (дайками) сиенит-порфиров. При внедрении даек в магнетитовые руды в одних случаях происходило частичное растворение раннее образованных минералов, вместо которых образовывались калиевый полевой шпат, пироксен, скаполит, магнетит перекристаллизовывался, в результате формировались разные типы руд. По мере удаления от дайки степень преобразований уменьшалась до полного их исчезновения, где руды сохранили свои текстурно-структурные первичные особенности. По данным [6, 11], на месторождении выделяют три типа руд: «оспенный», скарновый, гидросиликатный. Все типы руд не различаются по набору элементов-примесей, но отличаются по их содержанию. «Наиболее чистым является магнетит «оспенных» руд: содержания марганца, магния и алюминия наименьшее среди руд Гороблагодатского месторождения, но при этом резко возрастает количество титана и ванадия. Скарновые руды характеризуются пониженными содержаниями титана и ванадия, высокими — алюминия и марганца. Гидросиликатным рудам свойственны минимальные значения титана, ванадия и магния, что является их отличительной чертой» [11, с. 14].

Магнетит характеризуется большой распространенностью не только в рудах, но и во вмещающих породах, представляет собой типоморфный минерал с довольно сложным и разнообразным химическим составом. Разные генерации магнетита,

возникающие на различных стадиях формирования месторождения и на разных расстояниях от интрузива различаются между собой по составу, формам и размерам выделений, физическим, в том числе электрическим, свойствам [1, 8, 9, 15].

В [2—4] исследована температурная зависимость электрического сопротивления образцов магнетитовой руды различного парагенезиса («оспенный», скарновый, гидросиликатный) в диапазоне 20—800 °C. Установлены параметры высокотемпературной электропроводности (энергия активации E_0 и коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$). Выделено несколько областей, в каждой из которых руда представлена определённым минеральным составом и парагенезисом. Для каждого типа руд прослеживается связь между электрическими параметрами, которая имеет вид $\lg R_0 = a - bE_0$, где a и b — коэффициенты. Так, установлено, что параметры образцов пироксен-ортоклаз-магнетитовых, гранат-магнетитовых, эпидот-хлорит-магнетитовых руд образуют прямую, формируя её разные участки. Корреляционная связь между параметрами этих руд имеет вид: $\lg R_0 = 2,2 - 6,6E_0$ (рис. 1).

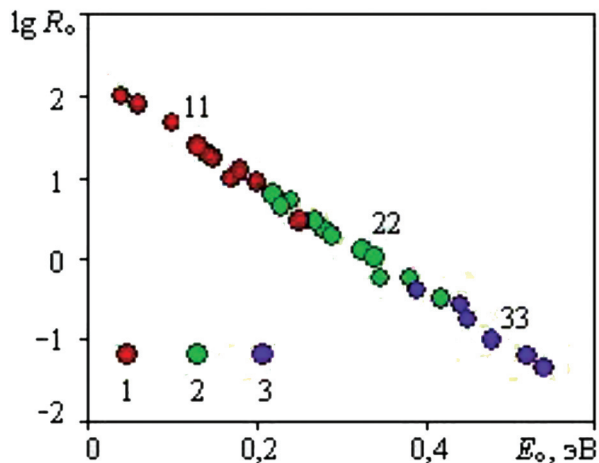


Рис. 1. Зависимости $\lg R_0 = f(E_0)$ пироксен-ортоклаз-магнетитовых — «оспенных» (1), гранат-магнетитовых — скарновых (2), эпидот-хлорит-магнетитовых — гидросиликатных (3) руд: числа рядом с точками — номера образцов

Пироксен-магнетитовые руды («оспенный» парагенезис) — высокотемпературные образования, хорошо раскристаллизованы, имеют максимальные размеры зёрен. Эти руды пространственно ближе всех из типов руд находятся к интрузиву. Образцы этих руд обладают самыми большими значениями коэффициентами электрического сопротивления $\lg R_0$ (0,5—2,1) и самыми малыми значениями энергии активации E_0 (0,07—0,02) из всех исследованных образцов. Дальше от интрузива расположены среднетемпературные руды — гранат-магнетитовые (скарновые). Ещё дальше — низкотемпературные слабораскристаллизованные, мелкозернистые (гидросиликатные). По мере удаления от интрузива электрические параметры образцов руды изменяются: увеличивается E_0 , уменьшается $\lg R_0$ [3, 4].

С другой стороны, движение магматического расплава приводило к пластичным деформациям и частичному переплавлению минералов в примыкающих к дайкам вулканогенно-осадочном комплексе пород с образованием магнетитовых кайм. Кайма магнетитовых руд формировалась путём оттягивания магнетита к внешней кромке даек. В самой дайке зёрна магнетита приобретали удлинённые формы, ориентировка которых совпадает с положением контакта [10]. На рис. 2 приведена фотография одной из двух полировок исследованных образцов-кубиков из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами (образец вырезан перпендикулярно контакту).

В Тагило-Кушвинском железорудном районе известны многочисленные мелкие месторождения, рудопроявления и точки минерализации. Обращает внимание слабая их изученность. Многие из них находятся в удалении от «материнских» интрузий и изначально считались малоперспективными. С позиции первично вулканогенно-осадочного генезиса магнетитовых руд необходима переоценка перспективности рудоносности выявленных в районе мелких месторождений, рудопроявлений и точек минерализации. При проведении поисковых и оценочных работ необходимо учитывать кроме геологических поисковых критериев и предпосылок, а также результаты исследований высокотемпературной электропроводности магнетита — магнетитовой руды (для разбраковки магнетита от руды и

магнетита из контакта сиенитов с вмещающими породами).

Цель настоящей работы: исследовать температурную и частотную зависимости электрического (омического) сопротивления при постоянном напряжении и активного сопротивления при переменном напряжении образцов магнетитовых руд и магнетита из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами. Определить их электрические параметры (энергию активации и коэффициент электрического сопротивления), установить характер их распределения в связи с генезисом и минеральным составом, оценить содержание магнетита в руде. На основе комплексного использования электрических параметров повысить информативность и достоверность разведки.

Методика исследования и образцы. Методика определения электропроводности образцов горных пород и электрических параметров при высоких температурах описана в [3, 4]. Образцы для исследований вырезали в форме кубика с ребром 0,02 м. Измерения выполнены в открытой системе при атмосферном давлении. Электрическое сопротивление измеряли на двухэлектродной установке через каждые 10°C в интервале температур 20—800°C. Скорость нагревания 0,066 град./с. Температуру в системе определяли платино-платинородиевой термопарой в 0,01 м от образца. Температурные зависимости электрического сопротивления получали при постоянном напряжении, активного сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь — при переменном напряжении.

Прибор для измерения электрического сопротивления при постоянном напряжении — тераомметр Е6-13 с динамическим диапазоном от 10 до 10¹⁴ Ом и пределами допустимой относительной погрешности измерений от ±2,5 до 4% в конце диапазона.

Для определения энергии активации E_0 и коэффициента электрического сопротивления $\lg R_0$ кривые высокотемпературной электропроводности были построены в координатах $\lg R, 1/T$. Энергия активации E_0 определена по величине тангенса угла наклона касательной к кривой $\lg R = f(1/T)$ в некоторой точке прямолинейного участка в температурной области, где кривая $\lg R = f(1/T)$ не искажена аномальными эффектами. Этому условию удовлет-



Рис. 2. Фотография полировки образцов-кубиков из контакта сиенит-порфиоров с вулканогенно-осадочными породами: числа — номера образцов в полировке

воряет окрестность температуры магнитного превращения. Коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$ определён как величина отрезка, отсекаемого касательной к кривой $\lg R = f(1/T)$ на оси ординат.

В качестве измерительного прибора для определения температурных зависимостей активного электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь при переменном напряжении использовался «Измеритель L, C, R цифровой» E7-8. Прибор позволяет измерять тангенс угла диэлектрических потерь и активное сопротивление. Рабочая частота прибора 1000 Гц. Частотную дисперсию активного сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь исследовали при комнатной температуре в интервале 0,01–100 кГц (прибор — «Измеритель иммитанса» LCR-819).

Значительная часть минералов, горных пород, руд в большей степени является диэлектриком. Из всего многообразия физических свойств важнейшими, характеризующими вещество как диэлектрик, являются электрические свойства: поляризация, диэлектрическая проницаемость, электропроводность. При этом большинство минералов — ионные кристаллические диэлектрики.

Электропроводность диэлектриков характеризуется тем, что, во-первых, носителями тока являются ионы, электроны и «дырки», причём в зависимости от температуры и величины поля в переносе тока участвуют как ионы, так и электроны последовательно или одновременно; во-вторых, при низких температурах наблюдается значительное изменение тока со временем, связанное с поляризацией и накоплением объёмного заряда в диэлектрике [5, 13, 14]. Наблюдаемое изменение тока со временем обусловлено перераспределением электрического поля в диэлектрике, скорость которого зависит от процессов, вызывающих это изменение.

В горных породах поляризация является результирующей нескольких различных процессов. Возникновение того или иного вида поляризации определяется физико-химическими свойствами среды, вещественным составом, структурными и текстурными особенностями. Ввиду неодинакового времени установления различных видов поляризации диэлектрическая проницаемость реального вещества в зависимости от частоты может меняться существенно. В горных породах, представляющих многофазные системы, возможно одновременное проявление большинства видов поляризации, что значительно осложняет зависимости электрического сопротивления, диэлектрических потерь от частоты электрического поля. Частотная зависимость сопротивления, диэлектрических потерь является характеристикой материала и определяется для каждого материала не только свойствами молекул, но и наличием и составом примесей, дисперсностью среды. В качестве примера на рис. 3 пока-

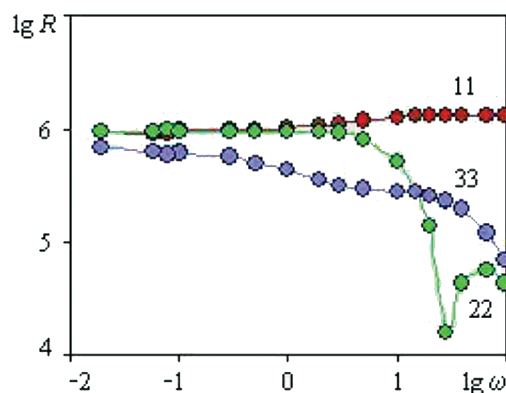


Рис. 3. Частотные зависимости электрического сопротивления образцов магнетитовых руд: числа — номера образцов (см. рис. 1)

заны частотные зависимости электрического сопротивления различных типов руд.

Установление диэлектрической поляризации (поляризация смещения) приводит к быстрому спадающему току (доли секунды). Процесс накопления объёмного заряда (релаксационная поляризация) вызывает медленное спадание тока со временем (часы, сутки). Релаксационная поляризация, в отличие от диэлектрической, тесно связана с тепловым движением поляризующихся частиц. Абсорбционные заряды в диэлектрике образуют электрическое поле, направленное противоположно приложенному полю. Это электродвижущая сила поляризации, которая уменьшает силу тока, проходящего через образец. Релаксационная поляризация может достигать значительных величин, меняется от образца к образцу за счёт как количества и физико-химической природы примесей, степени неоднородности образца, так и за счет внешних факторов: времени протекания тока, напряженности электрического поля, температуры [5, 14]. «Полный ток, являющийся следствием всех этих процессов, можно разделить на спадающий со временем абсорбционный ток и не зависящий от времени остаточный ток» [14, с. 382].

С повышением температуры исследуемого образца поляризация падает, так как тепловое движение препятствует упорядочению частиц, возрастают диффузия и рекомбинация, способствующие «рассасыванию» объёмного заряда, уменьшается величина обратного тока, снижающего проводимость. При высоких температурах остаточное сопротивление приближается к значению «истинного» и при некоторой температуре может стать равным ему.

При переменном напряжении стационарное распределение заряда в диэлектрике образоваться не успевает вследствие непрерывного изменения направления поля. В переменном электрическом поле с увеличением частоты уменьшается роль приэлектродных эффектов и объёмной поляризации, поэтому электрическое сопротивление в этом случае меньше, чем на постоянном токе.

При высоких температурах сопротивление при постоянном напряжении (омическое) и переменном напряжении (активное) совпадают. Это свидетельствует о том, что в этой области температур (где уже нет заметного спада тока со временем) потери определяются проводимостью, а для потерь проводимости характерно совпадение активного сопротивления при переменном напряжении и омического сопротивления при постоянном напряжении [7].

В качестве примера на рис. 4 даны типичные температурные зависимости электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) напряжении и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образцов эпидот-хлорит-магнетитовой руды. При нормальной температуре (20°C) наблюдается большое различие сопротивлений при постоянном и переменном напряжении (до четырех порядков). Различие обусловлено влиянием сложных поляризационных процессов, происходящих в неоднородной среде. По мере нагревания образцов различие уменьшается и при достижении некоторой температуры (T_0 , для разных образцов разной) становится практически одинаковым. Сопротивление на постоянном токе исследованных образцов во всем температурном интервале уменьшается на четыре—шесть порядков [3, 4]. Диапазон изменений электрического сопротивления на переменном токе разных. Для некоторых

исследованных образцов — сопротивление меняется в пределах одного порядка, для других — достигает двух—трёх порядков.

Установлено, чем больше содержание магнетита в образце, тем ниже температура T_0 , при которой сопротивление на постоянном токе становится равным активному сопротивлению на переменном токе. По температурным зависимостям электрического сопротивления при постоянном и переменном напряжении для образцов гранат-магнетитовой руды определили значения температур T_0 и сопоставили их с содержанием магнетита (рис. 5).

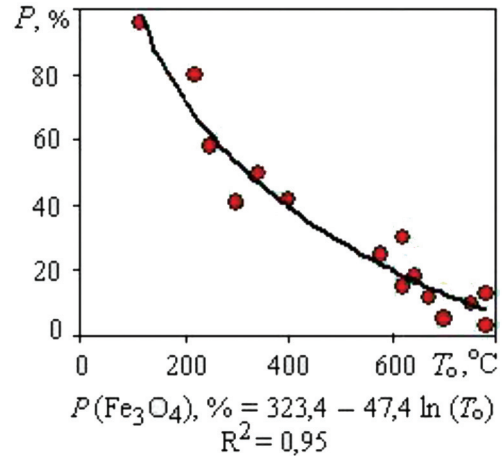


Рис. 5. Связь между температурой T_0 , при которой электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении, и содержанием магнетита P , %: кружки — экспериментальные значения $P(\text{Fe}_3\text{O}_4), \% = f(T_0)$; кривая — линия корреляции

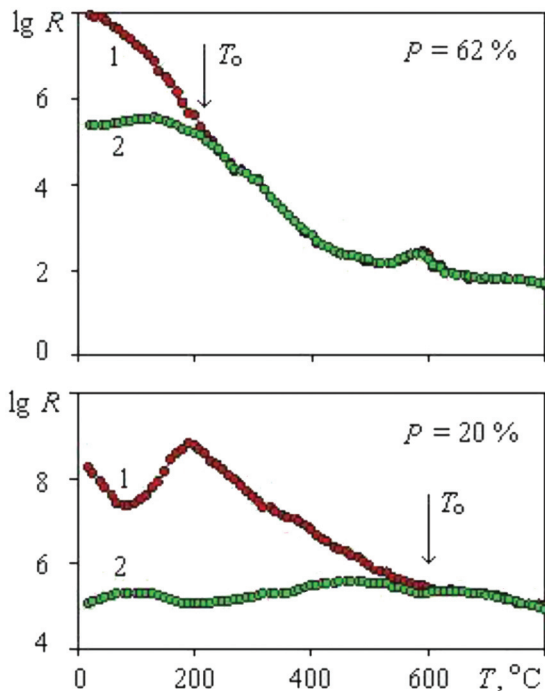


Рис. 4. Зависимости $\lg R = f(T)$ электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) напряжении и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образцов магнетитовой руды: T_0 — температура, при которой электрическое сопротивление при постоянном напряжении становится равным активному сопротивлению при переменном напряжении; $P, \%$ — содержание магнетита в образце

Особенности электрических параметров (электропроводности) магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами. В качестве примера сопоставлены кривые $\lg R = f(T)$ образцов магнетита (рис. 2, образцы 1 и 4) из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (рис. 6). Для всех исследованных образцов магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами при температурах выше 200–500°C установлено совпадение электрического сопротивления при постоянном напряжении с электрическим сопротивлением при переменном напряжении. При этом электрическое сопротивление в температурной области 20–500°C в случае переменного напряжения выше электрического сопротивления при постоянном напряжении. Этот, впервые обнаруженный факт, пока не находит объяснения. Хотя, возможно, причиной такого поведения электропроводности, может быть «чистота» магнетита от разного рода примесей.

На рис. 7 показана связь между E_0 и $\lg R_0$ исследованных образцов магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными поро-

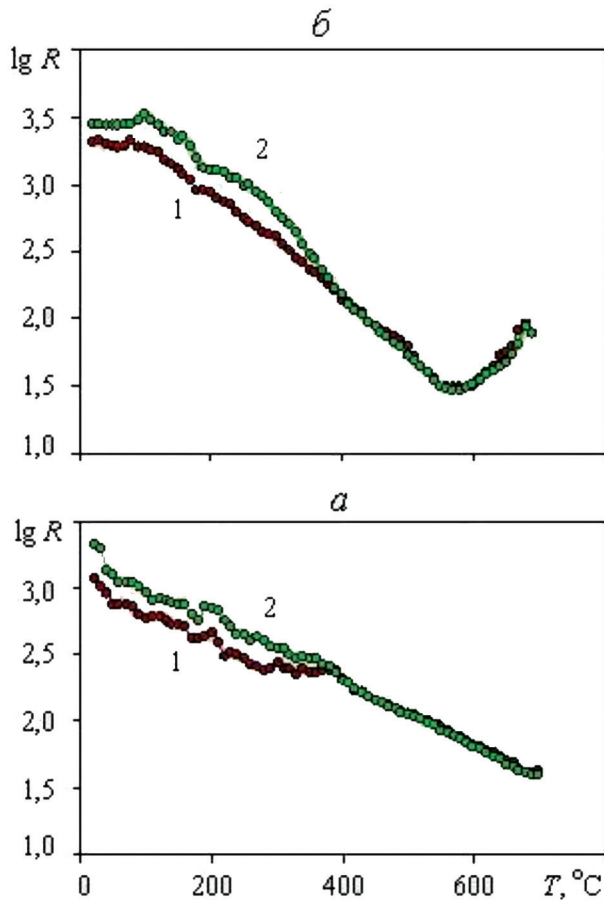


Рис. 6. Зависимости $\lg R = f(T)$ электрического сопротивления при постоянном (кривые 1) напряжении и активного сопротивления (кривые 2) при переменном напряжении образцов магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами: а) и б) — образцы 1 и 4 из полировки (см. рис. 2)

дами. Прослеживается связь между электрическими параметрами, которую можно выразить (как и для магнетитовой руды) в виде: $\lg R_0 = a - bE_0$, где a и b — коэффициенты. Для совокупности образцов магнетитовой руды (рис. 1) и магнетита из кон-

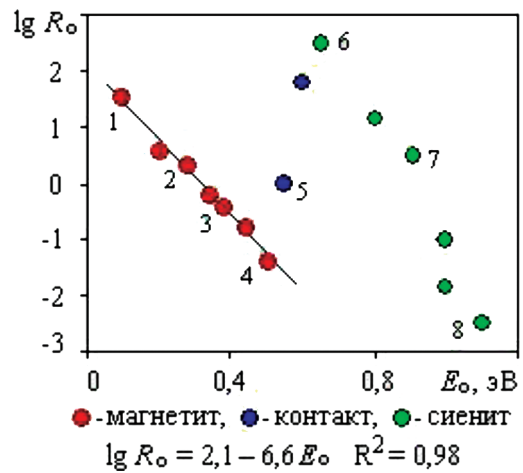


Рис. 7. Зависимости $\lg R_0 = f(E_0)$ исследованных образцов магнетита и сиенита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами: кружки — экспериментальные значения $\lg R_0 = f(E_0)$; прямая — линия корреляции; числа около некоторых точек — номера образцов-кубиков в полировке (см. рис. 2)

такта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (рис. 7) коэффициенты b совпадают: $b = 6,6$. Различаются уравнения величиной коэффициента a . Корреляционное уравнение, выражающее связь между параметрами образцов магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами, имеет вид $\lg R_0 = 2,1 - 6,6E_0$. Однако хотя уравнение регрессии имеет тот же вид, а коэффициенты a и b — близки, характер изменения параметров магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами существенно иной. По мере удаления от интрузива электрические параметры образцов магнетитовой руды (рис. 1), так же, как и исследованных ранее [4] изменяются следующим образом: увеличивается E_0 , уменьшается $\lg R_0$. Для образцов магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами эта зависимость обратная: с удалением от контакта сиенит-порфиров уменьшается E_0 ,

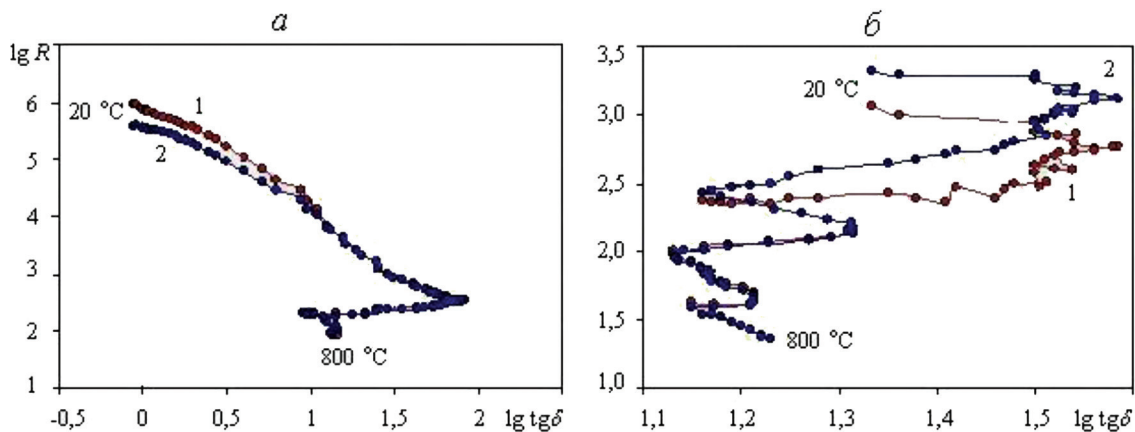


Рис. 8. Типичные корреляционные связи между электрическим сопротивлением при постоянном напряжении (кривые 1), при переменном напряжении (кривые 2) и диэлектрическими потерями гранат-магнетитовой руды (а) и магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (б) в температурном диапазоне 20–800 °С

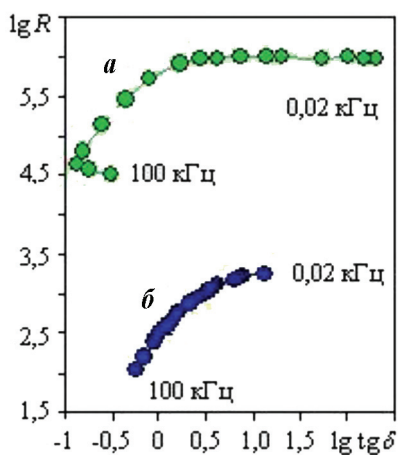


Рис. 9. Корреляционные связи между электрическим сопротивлением при переменном напряжении и диэлектрическими потерями гранат-магнетитовой руды (а) и магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (б) в частотном диапазоне 0,02–100 кГц

увеличивается $lg R_0$ (рис. 7). Заслуживают внимания корреляционные связи между электрическим сопротивлением и диэлектрическими потерями $lg R = f(lgtg\delta)$ в температурном интервале 20–800°C (рис. 8) и частотном диапазоне 0,02–100 кГц (рис. 9). Характер связей для магнетитовой руды и магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами различный. Для магнетитовой руды она может быть аппроксимирована тремя прямыми. В низкотемпературной области с увеличением температуры электрическое сопротивление уменьшается, а диэлектрические потери растут. В среднетемпературной области (для отдельных образцов от 230 до 570°C) с увеличением температуры электрическое сопротивление также уменьшается, а диэлектрические потери растут, однако скорость изменения этих параметров выше, чем в низкотемпературной области. Величина $lgtg\delta$ достигает максимального значения в точке перегиба (для образца, приведённого на рис. 8, а, это происходит при температуре 530°C). При дальнейшем увеличении температуры диэлектрические потери и электрическое сопротивление падают. Точки перегиба — некая характеристика образца. В этой температурной области, возможно, меняется механизм электропроводности и поляризации. Иной, более сложный характер имеет связь между R и $lgtg\delta$ для магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (рис. 8, б). Возможно следующее объяснение.

В физике диэлектриков известно, что «кристаллические диэлектрики сложной структуры по характеру диэлектрических потерь можно разделить на два типа: слюды и кварца. Для диэлектриков первого типа характерно совпадение сопротивления при переменном напряжении с сопротивлением при постоянном напряжении только при достаточно высоких температурах, т. е. когда заметного спада тока уже нет [14, с. 416]. В области же более низких температур сопротивление постоянному току превышает сопротивление переменному току» [14, с. 417).

«К типу кварца принадлежат кристаллы с резко выраженной анизотропией электропроводности. Для этих кристаллов характер диэлектрических потерь зависит, повидимому, от направления поля. Для кварца, например, в направлении его оптической оси сопротивление переменному току почти совпадает с сопротивлением постоянному току. В направлении же, перпендикулярном оптической оси сопротивление переменному току меньше сопротивления постоянному току на целый порядок» [14, с. 417].

Заключение

Электрические параметры образцов магнетита из контакта сиенит-порфиров с вулканогенно-осадочными породами (электрическое сопротивление при постоянном и переменном напряжении, характер изменения диэлектрических потерь, характер изменения энергии активации и коэффициента электрического сопротивления) отличаются от параметров образцов магнетитовой руды.

Эти отличия могут быть использованы для детального прослеживания изменений состава руд по удалению от интрузива; проводить разбраковку точек минерализации: разделять магнетит рудный и магнетит из контакта сиенит-порфиров с вмещающими породами.

Обсуждаемый комплекс электрических методов позволяет получить дополнительную информацию о типоморфных признаках магнетитового оруденения (парагенезис, тип руды, минеральный состав) и пространственном положении относительно сиенитового массива исследуемых образцов. Выявленная связь $P, \% = f(T_0)$ оперативно (без дополнительных затрат средств и времени), возможно, позволит оценить содержание магнетита в руде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баклаев Я.П., Бочарникова Т.Д. Зависимость изменения состава и некоторых свойств магнетита от условий их образования // Скарново-магнетитовые месторождения Урала / Отв. ред. Г.Б. Ферштатер, Я.П. Баклаев. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 82–92.
2. Бахтерев В.В. Высокотемпературная электропроводность магнетитовой руды (магнетита) в связи с генетическими особенностями месторождения. // Доклады РАН. 2010. Т. 433. № 4. С. 496–498.
3. Бахтерев В.В. Электропроводность при высоких температурах образцов магнетитовых руд — возможный индикатор их минерального состава и генетических особенностей месторождения // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 5. С. 40–45.

4. Бахтерев В.В., Кузнецов А.Ж. Высокотемпературная электропроводность магнетитовых руд в связи с их генезисом и минеральным составом // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 2. С. 270–276.
5. Богородицкий Н.П., Волокобинский Ю.М., Воробьев А.А., Тареев Б.М. Теория диэлектриков. М.-Л.: Энергия, 1965. 344 с.
6. Железородная база России / Под ред. В.П. Орлова, М.И. Верихина, Н.И. Голикина. М.: Геоинформмарк, 1998. 842 с.
7. Желудев И.С. Физика кристаллических диэлектриков. М.: Наука, 1968. 463 с.
8. Карасик М.А. Промышленные типы контактово-метасоматических месторождений в Тагило-Кушвинском районе и особенности распределения элементов-примесей в рудах этих месторождений // Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района. Свердловск: УФАН СССР, 1957. С. 64–98.
9. Кузнецов А.Ж. Распределение элементов-примесей в магнетитах Гороблагодатского железорудного месторождения // Изв. вузов. Геология и разведка. 2003. № 5. С. 21–24.
10. Кузнецов А.Ж. Влияние микросиенитов и сиенит-порфиров на породы и руды Гороблагодатского железорудного месторождения (Урал) // Металлогения древних и совре-

- менных океанов — 2004. Достижения на рубеже веков. Т. 1. Проблемы металлогенического анализа месторождений черных и цветных металлов. Материалы десятой научной студенческой школы. Миасс: ИМин. УрО РАН, 2004. С. 152–155.
11. Кузнецов А.Ж. Строение и условия формирования магнетитовых залежей Гороблагодатского железорудного месторождения (Средний Урал). Автореф. дис ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2008. 22 с.
12. Овчинников Л.Н. Контактво-метасоматические месторождения Северного и Среднего Урала // Тр. Горно-геологического института УФ АН СССР. В. 89. Свердловск, 1960. 495 с.
13. Оreshkin P.T. Электропроводность огнеупоров и релаксационные явления на барьерных слоях. М.: Металлургия, 1965. 152 с.
14. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей). М.-Л.: Гостехтеориздат, 1949, 500 с.
15. Типоморфизм минералов: Справочник / Под ред. Л.В.Чернышевой. М.: Недра, 1989. 560 с.
16. Штейнберг Д.С. Геологическое строение Тагило-Кушвинского железорудного района // Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района. Свердловск: УФАН СССР, 1957. С. 5–20.

REFERENCES

1. Baklaev Ya.P., Bocharnikova T.D. Zavisimost' izmeneniya sostava i nekotorykh svojstv magnetita ot uslovij ih obrazovaniya [Dependence of changes in the composition and some properties of magnetite on the conditions of their formation]. *Skarnovo-magnetitovye mestorozhdenija Urals* — [Skarn-magnetite deposits of the Urals]. Ed.: G.B. Fershtater, Ya.P. Baklaev. Sverdlovsk: Ural scientific center, USSR Academy of Sciences Publ., 1978, pp. 82–92 (In Russian)
2. Bakhterev V.V. Vysokotemperaturnaja jelektroprovodnost' magnetitovoj rudy (magnetita) v svjazi s geneticheskimi osobennostjami mestorozhdenija [High-temperature electric conductivity of magnetite ore (magnetite) in connection with genetic properties of the deposit]. *Doklady RAN* — [Doklady Earth Sciences], 2010, Vol. 433, no. 4, pp. 496–498 (In Russian).
3. Bakhterev V.V. Jelektroprovodnost' pri vysokih temperaturah obrazcov magnetitovykh rud — vozmozhnyj indikator ih mineral'nogo sostava i geneticheskikh osobennostej mestorozhdenija [The high-temperature conductivity of magnetite ore as the possible basis for predicting the mineral composition and the genetic peculiarities of the deposits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2012, no. 5, pp. 40–45 (In Russian).
4. Bakhterev V.V., Kuznetsov A.Zh. Vysokotemperaturnaja jelektroprovodnost' magnetitovykh rud v svjazi s ih genезисом i mineral'nym sostavom [High-temperature conductivity of magnetite ores in relation to their genesis and mineral composition (by the example of the Goroblagodatskoe skarn-magnetite deposit)]. *Geologija i geofizika* — [Russian Geology and Geophysics], 2012, Vol. 53, no. 2, pp. 270–276.
5. Bogoroditsky N.P., Volokobinskii Yu.M., Vorob'ev A.A., Tareev B.M. *Teorija dijelektrikov* — [Theory of dielectrics], Moscow-Leningrad, Energy Publ., 1965, 344 p. (In Russian).
6. *Zhelezorudnaja baza Rossii* — [Iron ore base of Russia], Editor M.I. Orlov, M.I. Verihin, N.I. Golivkin, Moscow, Geoinformmark [Geoinformmark Publ.], 1998, 842 p. (In Russian).
7. Zheludev I.S. *Fizika kristallicheskih dijelektrikov* — [Physics of crystal dielectrics], Moscow, Nauka Publ., 1968, 463 p. (In Russian).
8. Karasik M.A. Promyshlennye tipy kontaktovo-metasomaticheskikh mestorozhdenij v Tagilo-Kushvinskom rajone i osobennosti raspredelenija jelementov-primesej v rudah jetih mestorozhdenij [Industrial types of contact-metasomatic deposits in Tagil-Kushvinsky district and peculiarities of distribution of impurity elements in ores of these deposits]. *Zhelezorudnaja baza Tagilo-Kushvinskogo promyshlennogo rajona* — [Iron ore base of Tagil-Kushvinsky industrial district], Sverdlovsk, Ural branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1957, pp. 64–98 (In Russian).

9. Kuznetsov A.Zh. Raspredelenie jelementov-primesej v magnetitah Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija [Distribution of impurity elements in magnetites of Goroblagodatsky iron ore Deposit]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2003, no. 5, pp. 21–24. (In Russian).
10. Kuznetsov A.Zh. Vlijanie mikrosienitov i sienit-porfirov na породы i rudy Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija (Ural) [Influence microsyenite and syenite-porphyrines in the rocks and ores Goroblagodatskoye iron ore Deposit (Ural)]. *Metallogenija drevnih i sovremennykh okeanov — 2004. Dostizhenija na rubezhe vekov. T. 1. Problemy metallogenicheskogo analiza mestorozhdenij chernyh i cvetnykh metallov. Materialy desjatoj nauchnoj studencheskoj shkoly* — [Metallogeny of ancient and modern oceans-2004. Achievements at the turn of the century. Vol. 1. Problems of metallogenic analysis of ore deposits of ferrous and non-ferrous metals. Materials of the tenth scientific student school], Miass, IMin. Ural branch of the RAS Publ., 2004, pp. 152–155 (In Russian).
11. Kuznetsov A.Zh. Stroenie i usloviya formirovaniya magnetitovykh zalezhej Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija (Srednij Ural) Doct. Diss. [Structure and conditions of formation of magnetite deposits of Goroblagodatsky iron ore Deposit (Middle Urals). Doct. Diss.], Yekaterinburg, Ural state mining University Publ., 2008 (In Russian).
12. Ovchinnikov L.N. Kontaktovo-metasomaticheskie mestorozhdenija Severnogo i Srednego Urals [Contact-metasomatic deposits of the Northern and Middle Urals]. *Trudy Gorno-geologicheskogo instituta UFAN SSSR* — [Proceedings of the mining and geological Institute of the Ural branch of the USSR Academy of Sciences], Vol. 89, Sverdlovsk, 1960, 495 p. (In Russian).
13. Oreshkin P.T. *Jelektroprovodnost' ognеuporov i relaksacionnye javlenija na bar'ernyh slojah* — [The electrical conductivity of the refractories and relaxation phenomena on the barrier layers], Moscow, Metallurgija [Metallurgy Publ.] 1965, 152 p. (In Russian).
14. Skanavi G.I. *Fizika dijelektrikov (oblast' slabyh polej)* [Dielectric physics (region of weak fields)], Moscow-Leningrad, Gostekh-teorizdat Publ., 1949, 500 p. (In Russian).
15. *Tipomorfizm mineralov: Spravochnik* — [Typomorphism of minerals: Reference book], Ed.: E.M. Chernysheva, M., Nedra Publ., 1989, 560 p. (In Russian).
16. Shteinberg D.C. Geologicheskoe stroenie Tagilo-Kushvinskogo zhelezorudnogo rajona [Geological structure of Tagil-Kushvinsky iron ore district]. *Zhelezorudnaja baza Tagilo-Kushvinskogo promyshlennogo rajona* — [Iron ore base of the Tagil-Kushvinsky industrial district], Sverdlovsk: Ural branch of the USSR Academy of Sciences. Publ., 1957, pp. 5–20 (In Russian).

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

УДК 55(09)

ВОПРОСЫ ПАЛЕОНТОЛОГИИ, СТРАТИГРАФИИ
И ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ В ТРАКТАТЕ Н. СТЕНОНА
«О ТВЁРДОМ, ЕСТЕСТВЕННО СОДЕРЖАЩЕМСЯ В ТВЁРДОМ»

Л.В. НОВГОРОВОДА, Ф.Ф. АХУНОВ, Р.У. ЕРЕМЕНКО, В.Н. КОМАРОВ

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

В 2019 г. исполняется 350 лет со дня выхода в свет трактата Николауса Стенона «О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом». В нём доказана возможность интерпретации пространственных отношений слоёв горных пород с точки зрения временной последовательности явлений. Н. Стенон связал пространство и время через появление в одном и том же месте разных тел, объединённых определёнными пространственно-геометрическими связями, создав методологическую основу для историко-геологического анализа. Обосновав непрерывно-прерывистую структуру процесса осадконакопления, он пришёл к выводу, что аналогичную структуру имеет и геологический процесс. Н. Стенон сделал заключение о неполноте геологической летописи и универсальности стратонов, а также сформулировал принцип актуализма. В трактате определено происхождение окаменелостей, проанализированы факторы фоссилизации остатков организмов, рассмотрены закономерности образования местонахождений, разработаны новые методические приёмы расшифровки ландшафтов геологического прошлого. Связав пространственные отношения между слоями с последовательностью их образования во времени, Н. Стенон ввёл в геологию новую реляционно-генетическую концепцию времени и разработал методику определения темпоральных свойств и отношений геологических объектов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Н. Стенон; палеонтология; стратиграфия; историческая геология; геологическое время.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-85-90

ISSUES OF PALEONTOLOGY, STRATIGRAPHY
AND HISTORICAL GEOLOGY IN THE TREATISE OF N. STENON
«ON THE SOLID, NATURALLY CONTAINED IN THE SOLID»

L.V. NOVGORODOVA, F.F. AKHUNOV, R.V. EREMENKO, V.N. KOMAROV

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

The 350th anniversary of the publication of Nicholas Stenon's treatise «On the solid, naturally contained in the solid» is marked in 2019. This work proves possibility of interpretation of spatial relations of layers of rocks from the point of view of the time sequence of the phenomena. N. Stenon linked space and time through the appearance in the same place of different bodies, united by certain spatial and geometric relationships, having created a methodological basis for geohistorical analysis. Having substantiated the continuous-discontinuous structure of the sedimentation process, he concluded that a geohistorical process has a similar structure. N. Stenon made a conclusion about the incompleteness of the geological chronicle and the universality of the stratoms, and formulated the principle of actualism. In the treatise, the origin of fossils is defined, the factors of fossilization of remains of organisms are analyzed, regularities of formation of locations are considered, new methodical receptions of deciphering of landscapes of the geological past are developed. Linking the spatial relationships between the layers with the sequence of their formation in time, N. Stenon introduced in geology a new relational genetic concept of time and developed a method for determining the temporal properties and relationships of geological objects.

К е y w o r d s: N. Stenon; paleontology; stratigraphy; historical geology; geological time.

В XVII в. произошёл окончательный отказ от аристотелевско-птоломеевской концепции мироздания, которая уступила место картине физического мира, основанной на строгих математических законах. Характерной чертой исследований, проводившихся в эту эпоху в различных областях естествознания, было стремление проникнуть в суть изучаемых явлений не на основании умозрительных гипотез, а с помощью тщательного описания и экспериментальной проверки полученных выводов. Геологии в её современном понимании ещё не существовало, хотя внимание натуралистов и философов уже занимали те вопросы, которые в дальнейшем стали основными предметами изучения геологии.

Особое значение в этом отношении имеет фундаментальное сочинение выдающегося итальянского естествоиспытателя датского происхождения Николауса Стенона «О твёрдом, естественно со-держашемся в твёрдом», явившееся итогом его наблюдений в провинции Тоскана (Западная Италия) [1—4, 6—15]. В 2019 г. мировая геологическая общественность будет отмечать 350-летие со дня выхода в свет первого издания этого трактата.

Необходимо отметить, что в середине XVII в. очень сильным было влияние христианской доктрины на общий интеллектуальный климат. Оно проявлялось главным образом в науках, связанных с анализом исторических явлений: для их свершения отведено жёстко лимитированные Священным писанием сроки (хотя отпущенный геологами срок в 6000 лет был явно недостаточным для объяснения всех тех природных феноменов, которые зафиксированы в геологической летописи). Поэтому «первые геоисторические построения были не в состоянии (да и не стремились) оценить ту бездну времени, которая отделяла человечество от возникновения нашей планеты» [4, с. 18]. Следует также подчеркнуть, что в это время ещё не существовало подробных географических описаний, из которых можно было бы получить достоверные сведения о геологических особенностях тех или иных регионов. Поэтому при попытках обоснования своих представлений Н. Стенон привлекал наряду с немногочисленными актуалистическими и исторически достоверными фактами не только данные Библии, но и сведения, содержащиеся в хрониках и трудах древних авторов.

В своей работе Н. Стенон использовал дедуктивную методологию Р. Декарта, «согласно которой нужно сначала выявить очевидные истины, пронизательностью ума установить первопричины и из них выводить следствия» [4, с. 19]. Общая логика построения трактата Н. Стенона, по мнению К.В. Симакова [4] сводится к следующему. Вначале Н. Стенон сформулировал общую гипотезу, доказывающую, что «при данном теле определённой формы, созданном согласно законам Природы, в самом этом теле находим доказательства, раскрывающие место и способ его создания» [5, с. 12]. Затем на этой основе построил частную гипотезу, объясняющую происхождение и форму залегающих слоёв горных пород, а также генезис заключённых в них ископаемых остатков и минералов. На заключительном этапе исследования Н. Стенон подвергает эмпирической проверке выдвинутые им дедуктивным путём общую и частную гипотезы, восстанавливая геологическую историю Тосканы.

Общая гипотеза сформулирована Н. Стеноном в трёх тезисах, из которых он выводит ряд логических следствий. Первый тезис гласит: «Если твёрдое тело со всех сторон окружено другим твёрдым телом, то из этих двух тел первым затвердело то, которое при взаимном соприкосновении даёт отпечаток особенности своей поверхности на поверхности другого» [5, с. 20]. Н. Стенон считает, что для подтверждения этого тезиса «необходимо

подвергнуть исследованию любое твёрдое тело, естественно заключённое в твёрдом» [5, с. 15]. Он делает вывод о том, что как окаменелости, так и минералы, заключённые в горных породах, возникли до того, как сформировались вмещающие их отложения: «В землях и камнях...содержащиеся внутри их тела затвердели уже тогда, когда вещество этих тел всё ещё было жидким; и даже сначала создались марказиты, затем камни, заключающие марказиты, и наконец, жилы минералов, наполняющие расселины камней» [5, с. 20] и далее: «Если в определённом слое находятся обломки другого слоя или части животных и растений, то, несомненно, его не следует причислять к слоям, которые в эпоху творения осели из первичной жидкости» [5, с. 29]. Фундаментальное значение данного постулата состоит в том, что «он впервые выдвинул идею возможности интерпретации пространственных отношений с точки зрения временной последовательности явлений и предложил конкретный и универсальный метод определения отношений “раньше — позже”» [4, с. 21]. Новизна этого положения заключается в том, что он «связал пространство и время не через механическое перемещение одного и того же тела между разными точками пространства, а через появление в одном и том же месте разных тел, связанных определёнными пространственно-геометрическими отношениями» [4, с. 21].

Второй тезис Н. Стенон сформулировал следующим образом: «Если твёрдое тело во всех своих частях подобно другому твёрдому телу не только в смысле условий поверхности, и в отношении расположения частей и частиц, то у этого второго тела окажется одинаковым с первым и способ образования, и место происхождения» [5, с. 20]. Из этого положения Н. Стенон выводит важные следствия. Во-первых, «слои Земли в отношении места и способа происхождения сходны с теми слоями, которые отлагают бурные воды моря» [5, с. 21], и, во-вторых, «ископаемые тела во всех отношениях похожи на части растений и животных: они имеют одно и то же происхождение и зародились в одних и тех же местах» [5, с. 21]. Конкретизируя своё понимание термина «место», под которым он понимает «вещество, которое своей поверхностью непосредственно касается поверхности тела» [5, с. 21], Н. Стенон подчёркивает, что «одно и то же вещество допускает разнообразные качественные состояния, ибо: 1) либо вещество — всецело твёрдое, либо — всецело жидкое, либо — частично твёрдое и частично жидкое... 4) либо оно всегда остаётся одним и тем же, либо мало-помалу изменяется» [5, с. 21]. Второй тезис постулирует лежащее в основе всех генетических построений геологии представление о том, что сходство состава и структуры сравниваемых образований свидетельствует об общности их генезиса. Кроме того, второй тезис «представляет собой не что иное, как выведенную дедуктивным путём формулировку принципа актуализма, вновь сформулированного на принципиально иной основе полтора века спустя» [4, с. 22]. Согласно данному принципу облик Земли изменялся под влиянием тех же факторов, что и в настоящее время и знание современных процессов даёт нам ключ к пониманию геологического прошлого. Наконец, утверждая, что вещество одного и того же тела может либо оставаться неизменным, либо постепенно изменяться, Н. Стенон конкретизировал идею Аристотеля о том, что движение выражается не только механическим перемещением тел, но и изменением их состояния. Тем самым он расширил свой первый тезис, связав время не только с образованием в одном и том же месте разных тел, но и с модификацией состояния одного и того же тела.

В третьем тезисе Н. Стенон утверждает, что «в тех случаях, когда твёрдое тело образовалось в соответствии

с законами природы, оно произошло из жидкости... Тело растёт до тех пор, пока к его частицам присоединяются новые частицы, отделившиеся от внешней жидкости... Частицы, непосредственно присоединяющиеся к твёрдому телу из внешней жидкости, в некоторых случаях в силу собственного веса оседают книзу, как, например, в процессе осаждения» [5, с. 22] и далее — «слои Земли принадлежат к осадкам из жидкостей» [5, с. 28]. Данный вывод чрезвычайно важен для объяснения процесса формирования различных пород при условии, если под жидкостью понимать не только воду, но и растворы, и магматические расплавы. Вводя это положение, Н. Стенон создал предпосылки для трактовки способа образования осадочных пород, без которого он не смог бы обосновать свою частную гипотезу, объясняющую слоистую структуру Земли. Н. Стенон рассматривает и вопрос об источниках сноса в водные бассейны обломочного материала: «Если среди слоёв Земли встречаются определённые каменные слои, то, очевидно, по соседству находился источник камнеобразующих вод» [5, с. 30].

Таким образом, сформулированные Н. Стенонем три тезиса определяют происхождение твёрдых тел, а также критерии для идентификации пространственно разобщённых объектов и возрастной последовательности их возникновения: «Итак, если всякое твёрдое тело имело от жидкости, по крайней мере, приращения, если тела, вполне подобные, образовались также одинаковым способом и если, наконец, из двух твёрдых тел, взаимно соприкасающихся, сначала затвердело то, которое на своей поверхности представляет собой отпечаток другого, то можно без затруднения высказать для данного твёрдого тела и его местонахождения некое определённое суждение о месте его образования» [5, с. 27]. Иначе говоря, разработанная Н. Стенонем общая гипотеза представляет собой универсальную методологическую основу для историко-геологического анализа.

Обсуждение проблемы слоистой структуры Земли Н. Стенон начинает с вопроса о механизме формирования слоёв и отмечает, что частицы жидкости «подчиняются законам тяжести» [5, с. 28], и далее: «Если в одном и том же месте вещество слоёв неодинаково...или же если в одном и том же осадке оказались вещества различной тяжести, то из этого следует, что самые тяжёлые осаждаются сначала, а самые лёгкие потом» [5, с. 30]. Н. Стенон связал процесс осадконакопления с действием гравитационного поля Земли. Это позволило ему не только объяснить закономерное распределение частиц внутри слоёв, но и прийти к выводу о первичном и вторичном их залегании. Н. Стенон пишет: «Во время образования какого-либо слоя под ним находилось другое тело, которое препятствовало дальнейшему опусканию порошкообразного вещества; следовательно, при образовании самого нижнего слоя под ним находилось другое твёрдое тело или даже жидкость, отличающаяся по своей природе от верхней жидкости и веса, большего, чем вес осадка той же верхней жидкости... Во время образования одного из верхних слоёв нижний слой уже приобрёл твёрдую консистенцию... Во время образования какого-нибудь слоя он был ограничен сбоку другим твёрдым телом или же покрывал весь земной шар. Отсюда следует также, что всюду, где заметны обнажённые куски слоёв, можно найти их продолжение или открыть другое твёрдое тело, которое остановило вещество этих самых слоёв и помешало ему течь и распространяться. Во время образования какого-либо слоя лежащее наверху его вещество было целиком жидким, и, следовательно, при образовании самого нижнего слоя ни одного из верхних слоёв ещё

не существовало» [5, с. 30—31]. Этими фразами обосновано положение, составляющее фундамент stratigraphии, которое сейчас называют принципом Н. Стенона. Смысл его заключается в том, что последовательность напластования слоёв отражает последовательность их формирования во времени. В дальнейшем было предложено расширить область применения данного принципа, не ограничивая её слоистыми осадочными толщами. Основанием для этого явились высказывания Н. Стенона, в которых он рассматривает взаимоотношения магматических и метаморфических образований. Л.Л. Халфин предложил следующую формулировку: «Относительный возраст двух контактирующих геологических тел установленного генезиса с очевидностью определяется их первичными пространственными соотношениями» [6, с. 13]. Наиболее удачно принцип Н. Стенона сформулировал С.В. Мейен: «временные отношения раньше/позже между геологическими телами определяются их первичными пространственными отношениями и (или) генетическими связями» [2, с. 26].

Как уже отмечалось, Н. Стенон связал формирование слоёв с постоянно действующим фактором — гравитационным полем Земли. Именно «универсальность этого фактора и постоянство его влияния на осадконакопление в течение всей истории Земли позволяют однозначно определять временные отношения “раньше — позже” между любыми геологическими телами, при условии сохранения (или реконструкции) их первичного залегания» [4, с. 24]. С другой стороны, непрерывность действия гравитации должны обуславливать и непрерывность процесса осадконакопления. Следуя логике Н. Стенона, можно было бы признать непрерывность и полноту геологической летописи. Однако это не так, поскольку Н. Стенон утверждает, что перед отложением верхнего слоя подстилающий его должен быть уже твёрдым, что «подразумевает наличие перерыва в осадконакоплении» [4, с. 24]. Таким образом, процесс формирования слоистой структуры Земли представляется Н. Стенону как «непрерывно-прерывистый» [4, с. 24]. Он приходит к выводу о том, что «во время образования любого слоя его нижняя и боковые поверхности соответствовали поверхностям нижних и боковых тел; но его верхняя поверхность обычно была параллельна горизонту, и, следовательно, все слои кроме нижнего, содержались между двумя плоскостями, параллельными горизонту. Отсюда следует, что слои, перпендикулярные к горизонту либо наклонённые к нему, в другую эпоху были параллельны этому горизонту» [5, с. 31]. Наличие слоёв, находящихся во вторичном залегании, позволило Н. Стенону прийти к выводу о том, что регулируемый законом тяготения процесс осадконакопления время от времени прерывается под воздействием на слои каких-то внешних сил. Н. Стенон считал причиной вторичного залегания либо тектонические движения — «сильный толчок, сообщаемый слоям снизу доверху... Это сильное сотрясение слоёв сопровождается рассеянием в порошок землистого вещества и раскалыванием каменистого вещества на камешки и глыбы» [5, с. 31—32], либо «естественный обвал или разрушение верхних слоёв» [5, с. 31—32] над подземными пустотами. «Когда удаляется вещество из самого нижнего слоя или основания, тогда верхние слои начинают раскалываться; отсюда, в зависимости от различного расположения полостей и расщелин, наблюдается разное расположение расщеплённых слоёв» [5, с. 32]. В результате данных процессов «Одни из этих слоёв остаются параллельными горизонту, другие становятся перпендикулярными, большинство образует с ним косые углы, некоторые же, состоящие из вязкого

вещества, сгибаются в дугу» [5, с. 32]. И далее «все теперешние горы не существовали от начала мира... возможно, что горы опрокидывались... вершины гор поднимались и подвергались сжатию; Земля разверзалась и снова смыкалась» [5, с. 33–34]. Таким образом, изменение первичного залегания слоёв, сопровождавшееся формированием горных сооружений, происходило под эпизодическим воздействием внешних сил, которые обуславливали перемещение слоёв в пространстве в результате толчков, сжатия или растяжения. Как и для слоистой структуры Земли, Н. Стенон пришёл к выводу о непрерывно-прерывистом характере процессов, приводящих к формированию современного облика земной поверхности.

Помимо принципа определения возрастных отношений «раньше — позже» Н. Стенон сформулировал не менее важное положение, позволяющее устанавливать отношения одновременности: «Если в каменистом слое все частицы имеют одну и ту же природу и притом даже являются весьма тонкими, то нет основания отрицать, что этот слой образовался в эпоху творения из жидкости, которая в то время всё покрывала» [5, с. 29], и далее: «Если в одном и том же месте вещество всех слоёв будет одно и то же, то несомненно, что жидкость, их отложившая, не произошла из различных жидкостей, слившихся в разное время из разных мест» [5, с. 30]. Именно тождественность состава и структуры разобшённых слоёв «является основанием для вывода об их и генетическом единстве, и одновозрастности» [4, с. 25]. В своей частной гипотезе Н. Стенон сформулировал принципы и критерии которые позволяют на основании анализа современного состояния земной поверхности воссоздавать историю её формирования. «Связав воедино структурно-вещественные признаки слоёв с их генезисом и временем возникновения, с одной стороны, и пространственно-геометрические отношения между слоями с последовательностью их образования во времени, с другой, Н. Стенон, по сути дела, ввёл не только в геологию, но и в философию совершенно особое представление о времени, которое можно назвать реляционно-генетическим» [4, с. 27] и «указал на кардинальное различие в природе настоящего (динамического) и прошедшего (статического) реального времени» [4, с. 28]. Связав время не с перемещением тел в пространстве, а с последовательным возникновением объектов различного состава и структуры в одном и том же месте и сменой состояний одного и того же объекта, Н. Стенон «ввёл представление о едином пространстве — времени» [4, с. 28]. Временная компонента последнего выражена генетическими признаками тел и их пространственными отношениями. Благодаря смене генетически разнородных тел, формировавшихся в различные эпохи из неодинаковых по составу «жидкостей», геологическое время в трактовке Н. Стенона «приобретает свойства неоднородности и необратимости» [4, с. 28]. Таким образом, концепция времени, на которую опирался Н. Стенон, в корне отличается как от концепции И. Ньютона, представляющей время как не зависимую ни от чего внешней субстанцию, так и от концепции Г.В. Лейбница, который рассматривал время только как порядок последовательности. Именно Н. Стенон «следует считать творцом концепции, согласно которой Природа есть часы» [4, с. 28]. В качестве часов, отмеряющих геологическое время, он рассматривал процесс формирования современной структуры земной поверхности. Н. Стенон также затронул проблему огромности геологического времени. Он считает, что история развития Земли значительно дольше истории существования человечества, указывая на то, что «ни одно поколение не сохранило воспоминания о наводнениях в тех местах, где теперь находят множество морских тел» [5, с. 55].

Н. Стенон с успехом применил разработанные им принципы на практике. На основании изучения многочисленных обнажений Тосканы, он расчленил разрез и воссоздал историю геологического развития этой области, вплоть до формирования современной структуры земной поверхности. По существу Н. Стенон использовал анализ перерывов и несогласий — старейший метод палеотектонического анализа, позволяющий расшифровать в разрезе конкретного региона последовательность проявления погружений, поднятий и тектонических деформаций. Н. Стенон показал, что обособление фаций в вертикальном разрезе и их анализ имеют большое палеогеографическое значение, так как позволяют судить о сходстве и различии древних ландшафтов и об их смене во времени.

Н. Стенон обосновал «шесть различных периодов, когда Тоскана дважды была покрыта жидкостью, дважды являлась плоской и сухой и два раза была испещрена неровностями» [5, с. 60], подтвердив утверждение о том, что при изучении последовательности слоёв «в каждом отдельном случае можно подсчитать, сколько раз происходило осаждение» [5, с. 10]. Указанные шесть периодов можно объединить в два этапа. Каждый из них начинался с трансгрессии, за ней следовали поднятия. Завершались этапы эрозионным разрушением гор. Сопоставляя осадки первой и второй эпох всеобщего наступления моря, Н. Стенон указывает на их чёткое различие: в первую эпоху, когда жидкость покрывала всё, «ещё не было ни животных, ни растений» [5, с. 60], которые в изобилии присутствуют в осадках второй эпохи. Эти различия в составе разновозрастных осадков позволили Н. Стенону сделать важный вывод о том, что «если поверх слоёв первоначальной жидкости в некоторых местах находятся другие слои, то из этого следует только, что там отложились новые слои другой жидкости» [5, с. 60]. Данное эмпирическое заключение Н. Стенона даёт право предполагать, что «он уже ясно представлял себе, что одинаково, но разновозрастные состояния Земли не идентичны друг другу, но отличаются по характеру “жидкости” и составу связанных с ней осадков и ископаемых организмов» [4, с. 26]. Таким образом, «теоретически обосновав непрерывно-прерывистую структуру процесса осадконакопления, Н. Стенон пришёл к эмпирическому выводу, что аналогичную структуру имеет и геосторический процесс» [4, с. 27], который также и циклически необратим. Непрерывность геологической истории определяется действием постоянного фактора — гравитационного поля Земли, а прерывистость связана с периодически повторяющимися нарушениями первичного залегания слоёв, происходившими при возникновении горных сооружений и их последующим эрозионным разрушением. В результате этого происходит утрата значительной части геологической информации. Реконструируя историю развития Тосканы, Н. Стенон вынужден был отметить, что относительно «второго периода Земли, когда она была плоской и сухой, Природа молчит» [5, с. 61], точно так же, как она не даёт определённых указаний и по поводу «третьего периода, когда поверхность Земли была... неровной» [5, с. 61]. Из этого можно заключить, что Н. Стенон пришёл к выдающемуся эмпирическому заключению о неполноте геологической летописи. Н. Стенон считал, что установленные им этапы в геологическом развитии Тосканы могут быть выделены и опознаны по идентичным в структурно-вещественном отношении слоям на всей поверхности Земли. Его утверждение: «то, что индуктивно доказано для Тосканы на основании данных, полученных при посещении многих мест, я утверждаю и в отношении всей Земли, исходя из описаний различных местностей у разных авторов» [5, с. 60] явля-

ется основным выводом проделанного исследования, свидетельствующим об универсальности стратиграфических подразделений. Это представление легло в основу концентрически-оболочечной модели строения земной коры. Своим исследованием Н. Стенон отчётливо показал, что «Тоскана в особенности может служить примером того, как современное состояние какого-нибудь явления ясно свидетельствует о его прошлом» [5, с. 58], доказав на практике правильность сформулированных им ранее принципов и критериев историко-геологического анализа.

В работе Н. Стенона рассмотрены главным образом вопросы стратиграфии. Однако в ней содержится и много рассуждений палеонтологической и палеогеографической направленности.

Н. Стенон отметил, что многие естествоиспытатели прошлого неправильно трактовали происхождение так называемых фигурных камней — встречающихся в горных породах окаменелостей, считали их «игрой природы» и «занимались лишь восхвалением неведомых им сил природы, способных порождать, по их мнению, всё что угодно» [5, с. 14]. Этим объясняется то, что большинство учёных древности не находили ответа на вопрос — «каким образом предметы, находимые обычно в море, отложились в местностях, удалённых от него» [5, с. 13]. По мнению Н. Стенона, применившего принцип актуализма и имевшего значительный опыт анатомического исследования современных беспозвоночных, раковины, встречающиеся в горных породах, безусловно, как уже было отмечено ранее, представляли «части животных, некогда живших в жидкой среде» [5, с. 51]. В качестве других конкретных примеров Н. Стенон отмечает, что ископаемые кости и ископаемые растения также обычно похожи на современные формы, отличаясь от них только весом, цветом, а иногда размером. Н. Стенон отмечает и принципиальные отличия ископаемых остатков и горных пород, подчёркивая, что «камни гор не имеют ничего общего с костями животных, кроме некоторого подобия по твёрдости; они не напоминают костей ни по составу, ни по способу образования, ни по строению» [5, с. 33]. В качестве яркого примера Н. Стенон обсуждает природу «каменных языков» — зубов ископаемых акул, называемых им зубами Кархарийского морского пса. Он отмечает, что многие естествоиспытатели, в том числе Агрикола, принимали их за «отвердевшую водяную смесь», а другие учёные, хоть и признавали органическую природу данных образований, но считали их змеиными языками, а не зубами рыб. Н. Стенон отмечает, что впервые в 1616 г. итальянский ботаник Фабио Колонна доказал, что это зубы акул. Такого же мнения придерживается и сам Н. Стенон, даже, несмотря на то, что в отличие от зубов современных акул эти образования «чудовищной величины» [5, с. 11].

В рамках тафономических исследований Н. Стенон проанализировал основные факторы фоссиллизации остатков организмов, то есть превращения их в окаменелости и рассмотрел некоторые закономерности образования их местонахождений. Он обратил внимание на то, что при диагенезе различные минеральные вещества, содержащиеся в растворённом или коллоидном состоянии в воде, заполняют все пустоты в первичной структуре скелетных остатков организмов. Происходит окаменение остатка: «порошкообразное вещество слоёв настолько приспособилось к форме тел, содержащихся в нём, что наполнило каждую малейшую полость заключённого в них тела и воспроизвело его гладкость и блеск теми частями своей поверхности, которые его коснулись» [5, с. 28—29]. Н. Стенон отметил, что окаменелости отличаются одни от других весом. Тяжёлыми раковины становятся, в результате окаменения, «потому что имеют поры, наполненные по-

сторонним соком» [5, с. 52]. Лёгкие раковины возникают в ходе растворения, приобретая «в силу удаления более лёгких частей» [5, с. 52] расширенные поры. Н. Стенон выявил интересные особенности в процессах разрушения и изменения органической и минеральной составляющих остатков организмов. В частности, он отметил, что ископаемые растения иногда «превращены в уголь или наполнены окаменелым соком» [5, с. 57]. Тем самым он установил, что органическое вещество растительного происхождения, подвергаясь воздействию различных факторов, может обугливаться. Кроме того, Н. Стенон показал, что в условиях повышенной циркуляции в породе минеральных растворов, ископаемые растения могут замещаться теми или иными вторичными фоссилизирующими веществами и превращаться в фитоморфозы. Н. Стенон затронул проблему образования различных форм сохранности у ископаемых остатков. В частности, он проанализировал процесс формирования отпечатков и наружных ядер, отметив, что в их образовании могут принимать участие самые различные соединения. «Там, где проникающая сила соков растворила вещество раковины, эти соки либо поглощаются Землёй и оставляют пустые пространства раковин (я называю такие раковины состоящими из воздуха), или эти соки изменяются от присоединения нового вещества и наполняют соответственно его разнообразным свойствам пустые пространства раковин кристаллами, мрамором или камнем» [5, с. 52—53]. Н. Стенон установил факт различной степени сохранности окаменелостей и выявил их избирательную приуроченность к определённым типам пород, что имеет исключительное значение при реконструкции условий осадконакопления в геологическом прошлом. В частности он отметил, что сохранность «зависит от состава почвы, ибо я видел слои, состоящие из особого рода белой глины, которые растворяли все заключённые в них тела вследствие тонкости их сока. Я наблюдал также много других песчаных слоёв, которые целиком сохранили все тела, находившиеся в них» [5, с. 55]. Таким образом, Н. Стенон подразумевает, что при диагенезе благодаря воздействию факторов внешней среды (по крайней мере химической деструкции) может происходить полное уничтожение содержащихся в осадке помертвых остатков. В случае же их обнаружения следует понимать, что первичный качественный и количественный состав организмов, связанных прежде единым биотопом, может быть в различной степени искажён. Несмотря на активные процессы разрушения многие окаменелости, в частности, кости, обладают большой прочностью и могут с успехом выдерживать «разрушительную силу времени» [5, с. 56]. Работа Н. Стенона способствовала внедрению в палеогеографию новых методических приёмов, открывающих значительные перспективы в расшифровке ландшафтов геологического прошлого. Понимая, что живые организмы являются чуткими индикаторами изменения окружающей среды, он показал возможность использования различных окаменелостей в качестве показателей определённых физико-географических условий. Исследовав породы, содержащие ископаемые раковины «и подобные отбросы моря» [5, с. 10] он сделал вывод о том, что они «представляют собой осадки бурного моря» [5, с. 10]. «Если в определённом слое обнаруживаем следы морской соли, панцири морских животных, обломки кораблей и вещество, подобное морскому дну, то, несомненно, в этом месте в некую эпоху было море, — каким бы путём оно туда не проникло» [5, с. 29]. Н. Стенон отметил, что у передовых натуралистов прошлого никогда не возникал вопрос о возможности иного, не морского происхождения упомянутых тел. Учёные древности объяс-

няли находки остатков морских организмов на суше наводнениями. Н. Стенон присоединяется к этому мнению, отмечая также, что море может возникнуть и «вследствие обвала гор» [5, с. 29]. Н. Стенон допускал возможность масштабной транспортировки остатков организмов и их захоронения в обстановке, фашиально резко отличной от той, в которой жили сами организмы: «Если в определённом слое находим большое количество тростника, травы, коряг, сучьев и подобных предметов, то с полным правом можно заподозрить, что упомянутые предметы были туда привнесены наводнением реки или горного потопа» [5, с. 29–30]. Установление факта посмертного переноса остатков и способов переноса имеют исключительное значение для палеоэкологических, стратиграфических и палеогеографических выводов. Важными для расшифровки событий прошлого Н. Стенон считал и другие индикаторы: «Если в определённом слое присутствуют уголь, зола, пемза, асфальт и обожженные тела, то, несомненно, по соседству с жидкостью имел место пожар» [5, с. 30]. Он указывает также и возможную причину смены обстановок осадконакопления, считая, что «Это разнообразие может быть вызвано сменой времён года» [5, с. 30].

Классическая работа Н. Стенона «О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом» посвящена зарожда-

ющему описательному естествознанию. В ней сформулированы фундаментальные основы различных направлений научной геологии, опередившие, по меньшей мере, на полтора столетия взгляды современников. В тезисах Н. Стенона заложен общий методологический подход к анализу истории формирования геологических объектов не только различного генезиса, но и относящихся «к разным уровням организации (минеральному, породному, формационному)» [4, с. 27]. По мнению К.В. Симакова, «имя Н. Стенона можно поставить в один ряд с именами И. Ньютона и Г.В. Лейбница, чей гений покорил умы натуралистов второй половины XVII столетия и... предопределил основные направления развития научной мысли» [4, с. 27]. Многие авторы, в частности, Г.П. Леонов [1], считают Н. Стенона основоположником стратиграфии. Труды Н. Стенона оставили неизгладимый след не только в науке, но и в философии. Он показал, что геология имеет дело с принципиально иным, чем физика и обыденный опыт, временем, и, опираясь, на разработанную им принципиально новую реляционно-генетическую концепцию статического (т. е. представляющего собой материализованные следы прошлых процессов) времени «разработал собственную методику определения темпоральных свойств и отношений геологических объектов» [4, с. 7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов Г.П. Основы стратиграфии. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1973. 530 с.
2. Мейен С.В. Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 213 с.
3. Оноприенко В.И. Научные открытия живут в веках. Заметки о драматической судьбе Николая Стенона // Вестник РАН. 2007. Т. 77. №. 12. С. 1127–1133.
4. Симаков К.В. Введение в теорию геологического времени. Становление. Эволюция. Перспективы. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1999. 556 с.
5. Стенон Н. О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 151 с.
6. Халфин Л.Л. Принципы Никитина — Чернышёва — теоретическая основа стратиграфической классификации // Тр. СНИИГГиМС. Стратиграфия и палеонтология. 1969. В. 94. С. 7–42.
7. Шафрановский И.И. Николай Стенон — кристаллогграф, геолог, палеонтолог, анатом (1638–1686). Л.: Наука, 1972. 180 с.
8. Ascani K., Kermit H., Skytte G. Niccolo Stenone (1638–1686): anatomista, geologo, vescovo. Romae: «L'ERMA» di BRETS-CHNEIDER. 2002. 87 p. (Analecta Romana Instituti Danici. Supplementum; 31).
9. Brookfield M.E. Principles of Stratigraphy. Wiley, 2004. 340 p.
10. Kermit H. Niels Stensen, 1638–1686: the scientist who was Beatified. Gracewing Publishing, 2003. 179 p.
11. Kraus M.-J. Niels Stensen in Leiden. GRIN Verlag, 2011. 102 s.
12. Miniati S. Nicholas Steno's challenge for truth. Reconciling science and faith. FrancoAngeli, 2006. 338 p.
13. Morten H.J. On the origin of natural history: Steno's modern, but forgotten philosophy of science // The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment. The Geological Society of America. Memoir 203. 2009. P. 159–178.
14. Sobiech F. Nicholas Steno's way from experience to faith: Geological evolution and the original sin of mankind // The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment. The Geological Society of America. Memoir 203. 2009. P. 179–186.
15. Winter J.G. Introduction — the life of Steno // The prodromus of Nicolaus Steno's dissertation. New York. The Macmillan Company, 1916. P. 175–187.

REFERENCES

1. Leonov G.P. *Osnovy stratigrafii*. — [Foundations of stratigraphy]. V. 1. M., Moscow State University Publ., 1973, 530 p. (in Russian).
2. Meyen S.V. *Vvedenie v teoriyu stratigrafii*. — [Introduction to the theory of stratigraphy]. M., Science Publ., 1989, 213 p. (in Russian).
3. Onoprienko V.I. Scientific discoveries live in centuries. Notes on the dramatic fate of Nicholas Steno. *Vestnik RAN [Herald of the Russian Academy of Sciences]*, 2007, Vol. 77, no. 12. pp. 1127–1133 (in Russian).
4. Simakov K.V. *Vvedenie v teoriyu geologicheskogo vremeni. Stanovlenie. Evolyuciya. Perspektivy*. — [Introduction to the theory of geological time. Formation. Evolution. Outlook]. Magadan, NERC FEB RAS Publ., 1999, 556 p. (in Russian).
5. Stenon N. *O tvyordom, estestvenno sodержashchemsya v tvyordom*. — [On a solid naturally contained within a solid]. M., USSR Academy of Sciences Publ., 1957, 151 p. (in Russian).
6. Khalfin L.L. The Principles Nikitin — Chernyshev — the theoretical basis for stratigraphic classification. *Trudy SNIIGGiMS. Stratigraphy and paleontology*. (Proc. SNIIGGiMS. Stratigraphy and paleontology), 1969, Vol. 94, pp. 7–42 (in Russian).
7. Shafranovsky I.I. *Nikolaj Stenon — kristallograf, geolog, paleontolog, anatom (1638–1686)*. [Nikolaj Stenon-crystallographer, geologist, paleontologist, anatomist (1638–1686)]. L., Science Publ., 1972, 180 p. (in Russian).
8. Ascani K., Kermit H., Skytte G. *Niccolo Stenone (1638–1686): anatomista, geologo, vescovo*. Romae: «L'ERMA» di BRETS-CHNEIDER. 2002. 87 p. (Analecta Romana Instituti Danici. Supplementum; 31).
9. Brookfield M.E. *Principles of Stratigraphy*, Wiley, 2004, 340 p.
10. Kermit H. *Niels Stensen, 1638–1686: the scientist who was Beatified*. Gracewing Publishing, 2003, 179 p.
11. Kraus M.-J. *Niels Stensen in Leiden*. GRIN Verlag, 2011, 102 p.
12. Miniati S. *Nicholas Steno's challenge for truth. Reconciling science and faith*. FrancoAngeli, 2006, 338 p.
13. Morten H.J. On the origin of natural history: Steno's modern, but forgotten philosophy of science. *The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment. The Geological Society of America*. Memoir 203, 2009, pp. 159–178.
14. Sobiech F. Nicholas Steno's way from experience to faith: Geological evolution and the original sin of mankind. *The Revolution in Geology from the Renaissance to the Enlightenment. The Geological Society of America*, Memoir 203, 2009, pp. 179–186.
15. Winter J.G. Introduction — the life of Steno. *The prodromus of Nicolaus Steno's dissertation*. New York, The Macmillan Company, 1916, pp. 175–187.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 55(069)

О «ПУТЕВОДИТЕЛЕ ПО ЗАЛАМ ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО РАН»¹

В.Н. КОМАРОВ

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

В путеводителе по Государственному геологическому музею им. В.И. Вернадского РАН приводятся подробные сведения об особенностях строения и истории геосфер Земли, геологической деятельности живого вещества и человека. Рассказывается о богатствах недр России, геологическом строении окрестностей Москвы, коллекциях музея и его истории.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН; геология.
DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-91-92

ABOUT THE «GUIDE TO THE HALLS OF THE VERNADSKY STATE
GEOLOGICAL MUSEUM OF RAS»

V.N. KOMAROV

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

The guidebook to the Vernadsky State Geological Museum RAS provides the detailed information about the features of the structure and history of the Earth's geospheres, geological activity of living matter and the man. It tells about the riches of the Earth's bowels of Russia, the geological structure of the surroundings of Moscow, the collections of the Museum and its history.

K e y w o r d s: Vernadsky State Geological Museum RAS; geology.

Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН является первым естественно- научным музеем в Москве.

В его разнообразных экспозициях можно увидеть минералы и горные породы, руды и вулканические бомбы, метеориты и окаменелости — всё то, что в повседневной жизни мы обычно называем просто «камни». А в геологии камни — это важнейшие свидетели геологической истории Земли. С тех пор, как выдающийся итальянский естествоиспытатель Н. Стенон, связав пространственные отношения между слоями с последовательностью их образования во времени, ввёл в геологию новую реляционно-генетическую концепцию времени и разработал методику определения темпоральных свойств и отношений геологических объектов, специалисты научились читать каменную

летопись. Геологам удалось получить бесценную информацию о возникновении и эволюции жизни, о закономерностях осадконакопления, о распределении и миграции в земной коре химических элементов, о горообразовательных процессах, движении континентов и многом другом.

Рецензируемый путеводитель знакомит читателя с экспозиционными залами, последовательно одну за другой приоткрывая тайны нашей планеты.

Земная кора по своему составу — это разнообразные горные породы, состоящие из минералов. Поэтому путешествие по музею авторы начинают с мира минералов. Образование минералов происходит непрерывно. На земной поверхности они образуются в минеральных источниках и солёных озёрах, в жерлах

¹ Стародубцева И.А., Андреева И.П., Бессуднова З.А. и др. Путеводитель по залам Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН. М.: ГГМ РАН, 2018. 176 с.

вулканов и в пещерах. Формирование большей части минералов скрыто от человека: их кристаллизация происходит в недрах Земли в магматических очагах и горячих минерализованных растворах. В книге приведены подробные сведения о физических свойствах минералов и их систематике, об известных месторождениях, о той роли, которую сыграл камень в истории человечества и богатствах недр России. Большое внимание уделено выдающимся минералам прошлого.

Далее в путеводителе рассмотрены основные особенности геосфер Земли. Наша планета состоит из внешнего и внутреннего ядра, нижней и верхней мантии и земной коры. Земная кора и часть верхней мантии образует литосферу. Неотъемлемыми частями Земли являются гидросфера, атмосфера и биосфера. Все земные сферы взаимосвязаны и оказывают влияние одна на другую. Слагающие земную кору: магматические осадочные и метаморфические горные породы образуются в недрах Земли и на её поверхности как на континентах, так и на дне океанов. Путеводитель рассказывает о геофизических методах, позволяющих изучать внутреннее строение Земли, о химическом составе и физических свойствах геосфер, о литосферных плитах и основных структурных элементах материков и океанов. Дана оценка процессов выветривания, геологической деятельности живого вещества и человека.

Затем в книге подробно проанализирована геологическая история Земли. Изложены данные о метеоритах, о самых древних на Земле горных породах и разнообразных геологических процессах. Охарактеризованы принципы, которыми руководствуются учёные при восстановлении геологической истории нашей планеты. Обобщены данные об изменениях, которые претерпел животный и растительный мир Земли.

Следующий раздел путеводителя является геологическим очерком окрестностей Москвы. Читатель узнаёт о животных и растениях, обитавших здесь в разные геологические эпохи, о минералах и горных породах, о том, какие полезные ископаемые добывали наши далёкие предки, и какие добывают сегодня. Рассмотрены особенности проблем экологии Москвы.

Раздел «Исторические коллекции» включает информацию о том, каким образом попадают экспонаты в музей. В его фондах хранятся коллекции, связанные с именами выдающихся отечественных естествоиспытателей и известных государственных деятелей. Их биографии неразрывно связаны с историей России и историей накопления геологических знаний.

Далее путеводитель позволяет читателю познакомиться с коллекцией С.М. Миронова, полюбоваться разнообразием породообразующих и рудных минералов, редкими представителями минерального царства и игрой цвета драгоценных и поделочных камней.

В геологической кунсткамере представлено разнообразие форм природных тел, поражающих внешним сходством живого и неживого. Это сходство, подчиняющееся единым законам природы, демонстрируют образцы минералов, горных пород и ископаемых остатков, фотографии различных природных объектов. В представленных образцах природа выступает как художник, создавая удивительные произведения. Авторы отмечают, что природа использует в своих творениях одни и те же фигуры — спираль, диск, шар, эллипсоид и др. Виртуозно komponуя их, она создала бесконечное множество сложных, невероятно красивых, лёгких, прочных и экономичных конструкций. Авторы делают вывод о том, что природа является общим творцом всего многообразия живого и косного, всей красоты окружающего нас мира.

Заключительный раздел путеводителя знакомит с историей музея, которая начинается с Минерального кабинета Императорского Московского университета. Его основу составил дар Прокофия, Григория и Никиты Демидовых (6000 образцов), доставленный в университет в 1759 г. Эту коллекцию купил их отец, уральский заводчик Акинфий Демидов в начале 1740-х гг.

во Фрайберге (Германия) у известного естествоиспытателя И.Ф. Генкеля. В дальнейшем фонды музея формировались благодаря экспедиционным сборам учёных Московского университета Г.И. Фишера фон Вальдгейма, Г.Е. Шуровского, В.О. Ковалевского, А.П. Павлова, М.В. Павловой, В.И. Вернадского и их учеников. Необходимо отметить, что в 1930 г. после реформы образования Геологический и Минералогический институты Московского государственного университета и их музеи — Геолого-палеонтологический и Минералогический — были объединены с музеем геолого-разведочного факультета Московской горной академии и вошли в новый Московский геолого-разведочный институт (МГРИ) им. С. Орджоникидзе. Преподаватели и студенты МГРИ более чем за полвека обогатили музей образцами, собранными в экспедициях по всему Советскому Союзу. Выпускники института, ставшие первооткрывателями месторождений, составителями геологических карт, авторами научных публикаций, и в наши дни дарят музею образцы минералов и руд, горных пород и окаменелостей. Общее число единиц хранения в музее превышает 300 000.

Сохраняя славные традиции, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, с 2015 г. возглавляемый С.В. Черкасовым, опирается в своей работе на учение В.И. Вернадского о единстве косного и живого вещества планеты, о её связи с космосом, о роли человека как геологической силы, меняющей её лик.

Музей проводит огромной важности просветительскую работу. Являясь крупным научно-исследовательским центром, он активно сотрудничает с научными и общественными организациями, участвует в федеральных и международных программах. В нём создана передвижная выставка «Подмосковье за миллионы лет до нашей эры», экспонировавшаяся в 10 городах Подмосковья. В музее регулярно проводятся временные выставки. Коллекции музея неоднократно были представлены на выставках за рубежом. Много внимания уделяется работе с детьми и молодёжью. Созданы Клуб юных геологов и Межвузовский академический центр, навигации по специальностям горно-геологического профиля, на базе которого проходят телемосты между высшими и средними специальными учебными заведениями, а также ведущими сырьевыми компаниями России и стран СНГ. В рамках телемостов транслируются лекции ведущих отечественных учёных по актуальным вопросам геологии и горного дела. В музее проводятся экскурсии, оказывается помощь школам и высшим учебным заведениям в подборе необходимых образцов минералов, руд и горных пород. В специально оборудованных помещениях проводятся конференции и симпозиумы. Сотрудники музея ведут большую научно-исследовательскую работу: делают доклады на российских и международных форумах, публикуют статьи, сборники трудов музея, монографии.

Знакомство с рецензируемой книгой, которая, на мой взгляд, сразу же станет библиографической редкостью, оставляет самое тёплое впечатление. Подготовить это уникальное произведение, в котором очень доступно изложен важнейший мировоззренческий материал, авторам помогли высочайший профессионализм и, безусловно, уважение к своему делу. Отдельно хотелось бы отметить многочисленные, рассыпанные по тексту, словно драгоценные камни, интереснейшие исторические сведения, а также великолепное полиграфическое качество издания. Приведённые в нём многочисленные оригинальные рисунки и фотографии, вне всякого сомнения, позволят лучше воспринимать излагаемый материал.

Не сомневаюсь, что читатели, ещё не посетившие Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского, после знакомства с путеводителем, непременно захотят в нём побывать. Впрочем, и постоянные посетители, прочитав данную книгу, наверняка испытают щемящее чувство ностальгии и захотятся желанием вновь полюбоваться гармонией такого знакомого и такого неожиданного окружающего мира.

ХРОНИКА

**3-Я ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ,
МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЛИТОЛОГИИ**
«ЛИТОЛОГИЯ И Я: ОТ ИДЕИ ДО ВЫВОДОВ»

Л.В. БАДИДА

*ИГГ УрО РАН
7, Почтовый пер., г. Екатеринбург 620075, Россия
e-mail: kokshina.lv@gmail.com*

**THIRD RUSSIAN LITHOLOGY SCHOOL FOR THE STUDENTS,
POSTGRADUATE STUDENTS, YOUNG SCIENTISTS AND SPECIALISTS:**
«LITHOLOGY AND ME: FROM THE IDEA TO THE CONCLUSIONS»

L.V. BADIDA

*The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch (UB) of the Russian Academy of Sciences (RAS)
7, Pochtovy per., Ekaterinburg 620075, Russia
e-mail: kokshina.lv@gmail.com*

DOI:10.32454/0016-7762-2018-6-93-94

22–26 октября в Екатеринбурге на базе Уральского государственного горного университета (УГГУ) прошла 3-я Всероссийская Школа студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии, проводимая с 2014 г. одновременно с Уральским литологическим совещанием. Организаторами Школы выступали Институт геологии и геохимии УрО РАН и УГГУ при финансовой поддержке РФФИ.

В работе Школы участвовали более 100 специалистов из Екатеринбурга, Москвы, Санкт-Петербурга, Казани, Новосибирска, Саратова, Уфы, Тюмени и Когалыма. Важно подчеркнуть, что более 60% всех участников составили молодые литологи из научных и производственных организаций, сервисных и нефтегазодобывающих компаний, а также аспиранты, магистранты и студенты УГГУ, Казанского, Санкт-Петербургского, Московского, Новосибирского и Саратовского университетов и ряда институтов РАН.

Работа Школы была разбита на два крупных блока: первая половина дня отводилась лекциям ведущих литологов нашей страны, вторая — включала молодежные доклады и их обсуждение. Среди приглашенных оргкомитетом лекторов в этот раз были доктор геол.-мин. наук Ю.О. Гаврилов и М.И. Тучкова (ГИН РАН, г. Москва), Д.В. Гражданкин и Е.Ф. Летникова

(ИНГГ и ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), В.П. Алексеев и А.В. Маслов (УГГУ и ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург), доктор физ.-мат. наук Т.В. Романюк (ИФЗ РАН, г. Москва) и кандидаты геол.-мин. наук В.П. Шевченко (ИО РАН, г. Москва), Н.В. Пронина (МГУ, г. Москва), С.В. Рудько (ГИН РАН, г. Москва).

Все сообщения, тезисы которых опубликованы в сборнике материалов, были объединены в четыре тематических раздела: Современные проблемы литологии Урала, Актуальные вопросы литологии сопредельных с Уралом регионов, Нефтегазовая литология, Современные проблемы литологии других регионов России и стран ближнего зарубежья. С удовлетворением хотелось бы отметить, что число участников и разнообразие докладов на последней секции год от года растет. Так, в этом году на Школе выступил аспирант Казанского университета Юсеф Ибрахим (Сирия), подробно охарактеризовавший литологию и минералогию верхнетриасовых и нижнемеловых отложений Евфратского грабена.

Молодежные доклады оценивала «аттестационная комиссия», в состав которой входили профессора — ведущие литологи России. После тщательного обсуждения диплом I степени получил доклад аспиранта Максима Соломона (Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского), не

первый раз приезжающего в Екатеринбург. Второе место присуждено молодому специалисту ТО «СургутНИПИнефть» Марине Натчук, третье — студенту Новосибирского государственного университета Олжасу Жарасбаеву. Кроме того, большинством голосов участников приз зрительских симпатий достался Наталья Тёмной — студентке Казанского федерального университета.

Молодые участники Школы продемонстрировали высокий профессиональный уровень, показали, что владеют как классическими литологическими, так и современными методами исследования, умеют анализировать полученные результаты. Важно также подчеркнуть, что ряд слушателей школы приезжает в Екатеринбург во второй, а некоторые и в третий раз. Первый раз многие из них были еще студентами. Качественный состав слушателей Школы — от студентов 2–3 курса до аспирантов и «кандидатов в кандидаты наук». Активное общение в кулуарах Совещания и Школы — это возможность для молодежи не

только обсудить полученные результаты в неформальной обстановке, но и завязать новые научные контакты.

В итоге участники Школы высказали благодарность организаторам за теплый приём, а некоторые из лекторов подчеркнули, что будут приезжать на Школы и не получив приглашения Оргкомитета. Настоятельная необходимость продолжать эти, уже традиционные, встречи в Екатеринбурге регулярно была поддержана всеми. Выступившие на заключительном заседании рекомендовали Оргкомитету попробовать внедрить ряд новшеств, чтобы сделать и Совещание, и Школу еще более интересными и для выступающих, и для слушателей. Было подчеркнуто, что подобные встречи в существенной мере стимулируют повышение уровня исследований молодых специалистов и учёных, способствуют внедрению в их работу современных литологических методов.

Фотоархив и видеозаписи лекций Школы можно найти на сайте конференций УрО РАН <http://conf.uran.ru/>, а также на специализированном сайте <http://cwww.lithology.ru>.

ИГОРЮ СОЛОМОНОВИЧУ ГУТМАНУ – 85 ЛЕТ

85TH ANNIVERSARY OF IGOR' SOLOMONOVICH GUTMAN

Игорь Соломонович Гутман родился 6 декабря 1933 г. в г. Москве. Окончил Московский горный институт в 1956 г. по специальности горный инженер-маркшейдер.

Трудовую деятельность начал участковым маркшейдером шахты № 3 Гранковская, а через год был назначен главным маркшейдером этой шахты, а позже — главным маркшейдером шахтоуправления 3/5 Зубовское комбината «Тулауголь».

С 1960 г. Игорь Соломонович начал работать в институте имени И.М. Губкина (в те годы — МИНХ и ГП) как младший научный сотрудник на кафедре промышленной геологии нефти и газа. В 1963 г. И.С. Гутман закончил аспирантуру и в 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию, долгое время возглавляет отраслевую лабораторию нефтегазопромышленной геологии. С 1976 г. занимал должность доцента, с 1994 г. он профессор кафедры промышленной геологии нефти и газа. В период с 1997 по 2017 г. руководил созданным им при кафедре институтом проектирования и научной экспертизы (ИПНЭ), с 2000 г. — действительный член Академии естественных наук РФ. В настоящее время является Генеральным директором ООО «ИПНЭ», возглавляет Центр оценки месторождений газа и нефти ИПНГ РАН. С января 2018 г. — профессор кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБУ ВО «Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе».

Выдающийся ученый, педагог и организатор И.С. Гутман на протяжении более 55 лет является экспертом Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, входит в состав Центральной нефтегазовой секции ЦКР Роснедра. Выполнил более 700 экспертиз, в том числе всех уникальных месторождений нефти и газа Советского Союза и России.

Игорь Соломонович более 50 лет занимается педагогической деятельностью и передает студентам свой огромный опыт в области нефтегазопромышленной геологии. Он является автором многих учебников, ряд из которых имеют основополагающее значение в области нефтегазопромышленной геологии и подсчёта запасов углеводородов. Разработчик передовых учебных курсов по математическим методам в промышленной геологии, аудиту запасов.



Более 400 студентов, защитивших дипломы под руководством профессора Гутмана, успешно работают в отрасли, многие из них возглавляют геологические службы российских и зарубежных нефтяных компаний. Под его руководством защищено 10 кандидатских диссертаций. Игорь Соломонович — автор и соавтор 196 научных, учебных, методических работ, в том числе двух патентов на изобретения, соавтор четырёх регламентов Минэнерго России.

В 1990-е гг. под руководством И.С. Гутмана создан инновационный программный комплекс Autosog, предназначенный для автоматизированной корреляции разрезов скважин, геологического моделирования и подсчёта запасов. Особым достоинством программы является высокая производительность и эффективность работы на месторождениях, разбуренных сотнями и тысячами скважин.

В области научных исследований известны работы профессора И.С. Гутмана по корреляции разрезов скважин, моделированию залежей, подсчёту запасов и оценке ресурсов УВ, развитию методов подсчёта запасов и оценки ресурсов нефти и газа. И.С. Гутман неоднократно выступал с предложениями по совершенствованию классификаций запасов и ресурсов нефти и газа, методов подсчёта запасов, принимает активное участие в обновлении нормативной и методической базы подсчёта запасов и проектирования разработки месторождений углеводородов.

Игорь Соломонович руководил рядом ответственных экологических экспертиз, таких как проекты пионерного освоения Ковыктинского месторождения, нефтепровода «Дружба», бурения первых поисковых скважин по проекту «Сахалин-1» и на шельфе Каспийского моря. На этих позициях принципиально отстаивал интересы государства в области охраны недр, обеспечивал бережное отношение к окружающей среде и рациональное использование природных богатств.

Деятельность И.С. Гутмана отмечена правительственными и отраслевыми наградами.

Коллектив «Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе» искренне поздравляет Игоря Соломоновича и желает ему всего самого доброго, творческих успехов, здоровья, долголетия!

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА
2018, № 6

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2018 Г.**

Колонка главного редактора

Лопатин А.В. К 100-летию МГРИ 6

Геология

Балуев А.С., Колодяжный С.Ю., Терехов Е.Н., Лебедев В.А., Серов П.А. Проблемы времени заложения и тектонической эволюции Онежско-Кандалакшского палеорифта в свете данных изотопной геохронологии 5

Голионко Б.Г., Рязанцев А.В. Деформации и последовательность формирования структур северной части области развития максютовского метаморфического комплекса (Южный Урал) 1

Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской платформы. Статья 1. Тектоника фундамента 2

Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской платформы. Статья 2. Строение кровли фундамента 3

Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской платформы. Статья 3. Тектоника плитного чехла 4

Подлеснов А.В., Морковин Б.И., Машенко Е.Н. Особенности геологического строения и формирования раннемелового местонахождения наземных позвоночных Шестаково (Кемеровская область, Россия) 2

Садовников Г.Н. Роль экостратонов в построении стратиграфических шкал 1

Стогний Г.А., Стогний В.В. Модель формирования Бодайбинского прогиба: геолого-геофизический аспект 6

Хузина И.Р., Комаров В.Н. Ринхолиты и проблема широкого и узкого понимания таксонов 1

Минералогия, петрография, литология

Алексеев В.П., Амон Э.О. Основной фациальный закон Н.А. Головкинского — проблематика и новые горизонты 4

Андреичев В.Л., Соболева А.А., Сергеев С.А., Пресняков С.Л. Цирконовая хронология интрузивного магматизма полуострова Канин 4

Зинчук Н.Н. О литолого-минералогических особенностях древних алмазоносных осадочных толщ 3

Николова Н.Ю. Вещественный состав и условия формирования нижнепалеозойских песчаников кряжа Енганэ-Пэ (Полярный Урал) 6

Петроченков Д.А. Минеральный состав и геммологические характеристики окаменелостей морских рептилий Ульяновской области 5

Петроченков Д.А. Минеральный состав и геммологические характеристики окаменелого дерева Ульяновской области 6

Рязанцев А.В., Пилицына А.В., Новиков И.А., Дегтярев К.Е. Каменноугольный ⁴⁰Ar/³⁹Ar возраст редкометалльных риолитов и игнимбринов в Сакмарском аллохтоне Южного Урала, особенности их состава и обстановки формирования 3

Скублов С.Г., Красоткина А.О., Макеев А.Б., Галанкина О.Л., Мельник А.Е. Уникальная находка преобразования циркона в баделлеит (рудопоявление Ичетью, Средний Тиман). 1

Сонин В.М., Грязнов И.А., Жимулев Е.И., Чепуров А.И. Морфология алмазов, растворённых в расплаве Fe-S при разном содержании серы 4

Сустанов О.А. Динамическая перекристаллизация кварца в жилах среди песчаников зоны метазенеза (Куларский район, Якутия) 6

Полезные ископаемые, методика их поисков и разведки

Абрамов Б.Н. Особенности распределения редкоземельных элементов в рудах некоторых месторождений золота Восточного Забайкалья 5

Авдонин В.В., Жегалло Е.А., Сергеева Н.Е. О природе оксидных железомарганцевых руд океана 4

Богуславский М.А., Худяков С.О. Характеристика самородного золота Косьюмнерского россыпного месторождения (Приполярный Урал) 5

Голынская Ф.А., Никонов Р.А. Применение метода многомерной классификации по эталонным точкам для определения степени самовозгораемости бурых углей угольного пласта «Мошный» Тайнинского участка Канско-Ачинского бассейна 5

Зинчук Н.Н. Коры выветривания как основные поставщики местного материала в мезозойские алмазоносные россыпи 2

Зинчук Н.Н. О древних источниках алмазов в россыпях 4

Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитового тела Январское (Далдыно-Алакитский алмазоносный район). 5

Мальцев М.В., Толстов А.В., Бережнев И.И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) 6

Малютин С.А. Позднепалеозойский щелочно-гранитоидный магматизм Южного Казахстана и его участие в строении рудоносных вулканических сооружений Кендыктас-Чу-Или-Бетпакалинской ураноносной провинции 3

Некрасов Е.М. О шаге размещения и прогнозировании золоторудных тел жильного типа 2

Нгуен З.Х., Игнатов П.А., Нгуен Ч.Т., Танг Д.Н. Минералого-геохимические характеристики свинцово-цинковых месторождений района Чодон-Чодьен Северного Вьетнама 5

Никифорова З.С. Геолого-структурный контроль и критерии прогнозирования типов коренных источников россыпной золотоносности на востоке Сибирской платформы 5

Осипов А.В., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н., Монакова А.С., Захарченко М.В., Минлигалиева Л.И. Результаты геолого-съёмочных работ на восточном борту южной части Предуральского прогиба 3

Степанов В.А. Золото и ртуть в процессах рудообразования на Камчатке 4

Степанов В.А. Эталонная пара золоторудное месторождение—россыпь как основа прогнозирования новых золоторудных месторождений в Приамурье 6

Гидрогеология и инженерная геология

Бураков М.М. Методы определения гидрогеологических параметров по результатам опытных выпусков из слоистых водоносных толщ с перетеканием 2

Лам В.Х.-К., Лисенков А.Б., Лаврушин В.Ю. Условия формирования подземных вод в дельте Меконга (Вьетнам)

- по данным изучения изотопного состава кислорода и водорода 1
- Лам В.Х.-К., Лисенков А.Б., Лаврушин В.Ю., Белов К.В. Возраст и условия формирования вод среднеплиоценового водоносного горизонта дельты Меконга (Вьетнам) по результатам радиоуглеродного датирования 6
- Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С. Методика оценки параметров водоносных горизонтов по данным опытно-фильтрационных работ в условиях гидравлической связи . . . 1
- Фисун Н.В. Гидрогеологические особенности сеноман-альбского водоносного горизонта в междуречье рек Пажа и Торгоша (Сергиево-Посадский район Московской области) . . 2

Техника геолого-разведочных работ

- Брюховецкий О.С., Иляхин С.В. Целесообразность использования текущих хвостов обогащения в складочном процессе горных предприятий 6
- Лань Тяньвэй, Чжан Хунвэй, Ли Шэн, Батугин А.С., Чжао Вэйго, Ли Цян, Сунь Цзючжэн. Применение и развитие метода геодинамического районирования по прогнозу геодинамической опасности на угольных шахтах Китая . . 6

Геофизические методы поисков и разведки

- Антонов Ю.В. О возможной приуроченности землетрясений к экстремумам лунно-солнечных вариаций силы тяжести . . 3
- Бахтерев В.В. Комплексные исследования электрических параметров образцов магнетитовых руд в связи с их генезисом и минеральным составом (на примере Гороблагодатского скарново-магнетитового месторождения) 6
- Романов В.В., Даев Д.С., Чесалов Л.Е., Посеренин А.И. Определение геофизических и физико-механических свойств на примере четвертичных грунтов Сергиево-Посадского района 5

Геоэкология

- Ганова С.Д., Скопинцева О.В. Мониторинг поверхностных вод и донных отложений на территории расположения объектов транспорта газа в криолитозоне 5
- Житинская О.М., Ярл Л.А. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) 1
- Фисун Н.В. Экологический потенциал эколого-гидрогеологических систем в зоне влияния Кучинского полигона твёрдых бытовых отходов (Московская область) 3

Геоинформатика

- Нафигин И.О., Устинов С.А., Петров В.А. Трёхмерное ГИС моделирование чехла Стрельцовской кальдеры на основе цифровых моделей рельефа дневной поверхности и кровли фундамента 4

Дискуссии

- Рачинский М.З. К вопросу нефтегазоносности сверхглубоких объектов стратисферы 1

Экономика минерального сырья и геолого-разведочных работ

- Борисович В.Т., Иванов В.Н., Назарова З.М. Состояние минерально-сырьевой базы благородных металлов России и их роль в современной экономике 2

Вопросы геолого-разведочного образования

- Фоменко Н.Е. О методике преподавания геофизических дисциплин в институте наук о Земле ЮФУ 4

Из истории науки

- Новгородова Л.В., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У., Комаров В.Н. Вопросы палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии в трактате Н. Стенона «О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом» 6
- Романова В.В. История открытия и освоения Иульгинского оловянно-вольфрамового месторождения
- Стародубцева И.А. А.Б. Миссуна: тематика научных работ и их итоги 1
- Стародубцева И.А., Новиков И.В. История геологического и палеонтологического изучения горы Большое Богдо . . 2
- Щеглов И.А., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У., Комаров В.Н. У истоков биостратиграфии (к 250-летию со дня рождения Вильяма Смита) 3
- Щеглов И.А., Ахунов Ф.Ф., Еременко Р.У., Комаров В.Н. Жорж Кювье — выдающийся учёный-естествоиспытатель (к 250-летию со дня рождения) 4

Краткие сообщения

- Вязкова О.Е., Черепанский М.М., Белов К.В. Об изменении роли гидрогеологических условий на разных этапах функционирования природно-археологических систем . . 4
- Ганова С.Д., Скопинцева О.В., Исаев О.Н., Федотова В.П. Визуальная оценка состояния участков расположения линейных объектов Хасырейского месторождения . . 5
- Комаров В.Н., Гапоненко Е.С., Тарасов М.С. *Hadrocheilus* (*Lozovskia*) — новый подрод ринхолитов из верхнебарремских отложений Юго-Западного Крыма 5
- Петроченков Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты месторождения Иульгин 1
- Петроченков Д.А. Конкреции с фоссиллиями Ульяновской области — новый вид ювелирно-поделочного сырья 2
- Петроченков Д.А. Геммологические характеристики сенгилита — нового вида ювелирно-поделочного сырья Ульяновской области 4
- Третьяк А.Я., Швец В.В. Реагентный метод регенерации гидрогеологических скважин 5
- Черепанский М.М., Обухова А.Б. Гидрогеологические основы использования отработанных карьерных пространств . . 5

Критика и библиография

- Комаров В.Н. О «Путеводителе по залам Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН» 6

Хроника

- Бадида Л.В. 3-я Всероссийская Школа студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии) «Литология и я: от идеи до выводов» 6
- Игорю Соломоновичу Гутману — 85 лет 6
- Новгородова Л.В., Щеглов И.А., Комаров В.Н. О развитии палеонтологии на Международной научной конференции «Новые идеи в науках о Земле» 2
- Туров А.В., Андрухович А.О., Комаров В.Н. XI научные чтения, посвящённые памяти профессора М.В. Муратова . . 3