

ISSN 0016-7762 (Print)
ISSN 2618-8708 (Online)

2020

Том 63, № 4
Vol. 63, #4

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

4

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ
И РАЗВЕДКА
Научно-методический журнал

Том 63, № 4
2020

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 6 раз в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRU)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

GEOLOGY
AND
EXPLORATION

Scientific methodological journal

Vol. 63, No. 4
2020

The journal has been published since 1958
Frequency: Bimonthly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» публикуются статьи, содержащие результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в вузах и научно-исследовательских учреждениях, геолого-разведочных предприятиях, а также в порядке личной инициативы авторов. Печатаются обзорные статьи, освещающие современное состояние актуальных проблем геологической науки и геолого-разведочной практики, материалы научных конференций, симпозиумов и совещаний. Журнал пропагандирует передовой производственный опыт.

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за более чем 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. Он действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

Главный редактор

Лопатин Алексей Владимирович, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, г. Москва, Россия

Заместители главного редактора

Куликов Владимир Владиславович, доктор технических наук, профессор, первый проректор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Попов Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

Редакционная коллегия

Амро Мухамед Муса, PhD, директор Института бурения и добычи, Технический университет «Горная академия Фрайберг», г. Фрайберг, Германия

Баосун Ма, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов, Университет Сунь Ятсена, г. Гуанчжоу, Китай

Вердоа Массимо, PhD, профессор, Университет Генуи, г. Генуя, Италия

Гаранин Виктор Константинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия

Гулиев Ибрагим Саид оглы, академик НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Дронов Андрей Викторович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Етирмишли Гурбан Джалал оглы, член-корреспондент НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Игнатов Петр Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Игнатьева Маргарита Николаевна, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Керимов Вагиф Юнус оглы, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный геолог Россий-

ской Федерации, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Кузнецов Николай Борисович, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Куликов Вячеслав Степанович, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

Леонов Михаил Георгиевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Малков Анатолий Валентинович, доктор технических наук, директор, ООО «Нарзан-гидроресурсы», г. Кисловодск, Россия

Маслов Андрей Викторович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

Марин Юрий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Петров Владислав Александрович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Плечов Павел Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, директор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана, г. Москва, Россия

Самсонов Александр Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Семинский Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Толстов Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

Фридовский Валерий Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

Фулуи Нин, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов Национального центра международных совместных исследований по глубокому бурению и разработке месторождений полезных ископаемых, Китайский геологоразведочный университет, г. Ухань, Китай
Хуанг Шаопенг, PhD, профессор, Сианьский университет Цзяотун, г. Сиань, Китай; Шэньчжэньский университет, г. Шэньчжэнь, Китай; приглашенный научный сотрудник, Университет Мичигана, г. Энн-Арбор, США
Шестопалов Юрий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра электроники, математики и естественных наук, Университет Gävle, г. Евле, Швеция
Эпельбаум Лев Виленович, Dr. of Sci. (Geophys.), профессор кафедры геофизики, Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль
Серов Сергей Геннадьевич, ответственный секретарь, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Председатель редакционного совета

Косьянов Вадим Александрович, доктор технических наук, профессор, ректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Редакционный совет

Варламов Алексей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, г. Москва, Россия
Гусев Павел Николаевич, главный редактор газеты «Московский комсомолец», г. Москва, Россия
Козловский Евгений Александрович, доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия
Машковцев Григорий Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия
Спиридонов Игорь Геннадьевич, кандидат геолого-минералогических наук, директор, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, г. Москва, Россия
Трубецкой Климент Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	6 раз в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	200 экз.
Дата выхода в свет	31.05.2021
Типография	Отпечатано в ООО «БЕАН», 1, корп. 5, Баррикад ул., г. Нижний Новгород 603003, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2020
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

FOCUS AND SCOPE

Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration publishes original scientific articles presenting significant results of theoretical and experimental studies carried out by researchers from universities, research institutions and exploration companies, as well as by independent investigators. The Journal publishes review articles on topical issues of geological science and mineral resource exploration practice, along with the materials of such scientific events as conferences, workshops and roundtables. The Journal is also aimed at promoting advanced industrial experience.

During more than 60 years of its existence the Journal *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

Editor-in-Chief

Alexey V. Lopatin, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Biol.), Director, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Vladimir V. Kulikov, Dr. of Sci. (Engineering), First Vice-Rector, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Yuri A. Popov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Prof., Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

Editorial Board

Moh'd M. Amro, PhD, Director of Institute of Drilling Technology and Fluid Mining, Technical University Bergakemie Freiberg, Freiberg, Germany

Ma Baosong, PhD, Prof., Professor and research supervisor of doctoral students, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China

Massimo Verdoya, PhD, Prof., Università degli Studi di Genova, Genoa, Italy

Viktor K. Garanin, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Ibrahim S. Guliev, Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Andrey V. Dronov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Gurban J. Yetirmishli, corr. member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), General director of Republican Seismic Survey Center of ANAS head of seismology division, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Petr A. Ignatov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Margarita N. Ignatyeva, Dr. of Sci. (Economics), Prof., Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Vagif Y. Kerimov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Honored Geologist of the Russian Federation, Sergo Ordzhonikidze

Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Nikolay B. Kuznetsov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vyacheslav S. Kulikov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Mikhail G. Leonov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Anatoliy V. Malkov, Dr. of Sci. (Engineering), Director, Narzan-Gidroresursy Ltd., Kislovodsk, Russia

Andrey V. Maslov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Yuriy B. Marin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Vladislav A. Petrov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Pavel Yu. Plechov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Samsonov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Konstantin Zh. Seminsky, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Sergey A. Tikhotskiy, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Director, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Tolstov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

Valeriy Yu. Fridovsky, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Ning Fulong, PhD, Prof., Professor and research supervisor of doctoral students at the National Center for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

Shaopeng Huang, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA

Yury V. Shestopalov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden

Lev V. Eppelbaum, Dr. of Sci. (Geophys.), Professor, Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

Sergey G. Serov, executive secretary, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Chairman of the Editorial Council

Vadim A. Kosyanov, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Editorial Council

Alexey I. Varlamov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Scientific Adviser, All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia

Pavel N. Gusev, Editor-in-Chief, Moskovskii Komsomlets newspaper, Moscow, Russia

Eugeniy A. Kozlovsky, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Grigoriy A. Mashkovtsev, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

Igor G. Spiridonov, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	6 times per year
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	200 copies
Publication date	31.05.2021
Printing House	BEAN Ltd., 1, build. 5, Barricad str., Nizhny Novgorod 603003, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ

- 8** КОМПЛЕКСНЫЕ ПАЛЕОРОССЫПИ ВИТВАТЕРСРАНДА
В.А. СТЕПАНОВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 23** МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА
УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ
Е.А. ЛАВРЕНОВА, Ю.В. ЩЕРБИНА, Р.А. МАМЕДОВ
- 39** ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
МЕЗО-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АНАДЫРСКОГО ПРОГИБА
С.А. ГУРЯНОВ

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 52** ТИПЫ РЕК — ИСТОЧНИКОВ ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКИ ДЛЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРЫ
И НИЖНЕГО МЕЛА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАССЕЙНА
А.В. МАСЛОВ
- 62** МЕТАСОМАТИТЫ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ СЕВЕРНОГО ФЛАНГА
БАИМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)
А.В. ЮСУПОВА, И.А. БАКШЕЕВ, Н.Н. КОШЛЯКОВА

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 73** ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
СЪЕМОК, ВЫПОЛНЕННЫХ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ: ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД
Н.А. КАСЬЯНОВА
- 80** ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ МАЛОМОЩНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПОМОЩИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ
НА ПРИМЕРЕ ТУЛЬСКО-БОБРИКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
Б.В. ПЛАТОВ, Р.И. ХАЙРУТДИНОВА, А.И. КАДИРОВ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 88** РЕАБИЛИТАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ:
ОПЫТ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
А.К. АХМАДИЕВ, В.Н. ЭКЗАРЬЯН

ЮБИЛЕЙ

- 98** К 80-ЛЕТИЮ ОЛЕГА СТЕПАНОВИЧА БРЮХОВЕЦКОГО

НЕКРОЛОГ

- 100** ВИКТОР ГЕОРГИЕВИЧ ПРОНИН
18.06.1939–19.05.2021

GEOLOGY

- 8** **WITWATERSRAND COMPOSITE PALEOPLACERS**
VITALIY A. STEPANOV

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 23** **MODELING OF HYDROCARBON SYSTEMS AND QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE HYDROCARBON POTENTIAL OF EASTERN ARCTIC SEAS**
ELENA A. LAVRENOVA, YULIA V. SHCHERBINA, RUSTAM A. MAMEDOV
- 39** **PALEOGEOGRAPHIC AND LITHO-FACIAL CONDITIONS OF MESO-CENOZOIC SEDIMENT FORMATION OF THE ANADYR DEPRESSION**
SANAN A. GURYANOV

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 52** **TYPES OF RIVER SOURCES OF THE THIN-GRAINED ALUMINOSILICACLASTICS FOR THE JURASSIC AND LOWER CRETACEOUS DEPOSITS OF THE WEST SIBERIAN MEGABASIN**
ANDREY V. MASLOV
- 62** **HYDROTHERMAL ALTERATION AND MINERALIZATION AT THE PROSPECTS OF THE NORTHERN FLANK OF THE BAIMKA ORE ZONE, WESTERN CHUKOTKA**
ALENA YUSUPOVA, IVAN BAKSHEEV, NATALYA KOSHLyakOVA

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 73** **WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF INTERPRETING THE RESULTS OF GEOPHYSICAL SURVEYS PERFORMED FOR THE LOCAL FORECAST AND PROSPECTING FOR SOLID MINERALS: A GEODYNAMIC APPROACH**
NATALIA A. KASYANOVA
- 80** **EVALUATING THE THICKNESS OF THIN-BED SEAMS USING SEISMIC DATA ON THE EXAMPLE OF THE TULA-BOBRIKOVIAN SEDIMENTS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN**
BORIS V. PLATOV, RUZILYA I. KHAYRUTDINOVA, AINUR I. KADIROV

GEOECOLOGY

- 88** **ENVIRONMENTAL REMEDIATION IN FOREIGN COUNTRIES: EXPERIENCE OF LEGAL REGULATION**
ARTHUR K. AKHMADIYEV, VLADIMIR N. EKZARYAN

ANNIVERSARY

- 98** **TO THE 80TH ANNIVERSARY OF OLEG STEPANOVICH BRYUKHOVETSKIY**

MEMORIAL

- 100** **VIKTOR GEORGIEVICH PRONIN**
18.06.1939–19.05.2021



КОМПЛЕКСНЫЕ ПАЛЕОРОССЫПИ ВИТВАТЕРСРАНДА

В.А. СТЕПАНОВ

ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр»
Дальневосточного отделения Российской академии наук
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Расположенная в Южной Африке золотоносная провинция Витватерсранд является наиболее богатой в мире. Месторождения являются комплексными, из них наряду с золотом, серебром и ураном попутно добываются осмириды и алмазы. Генезис месторождений Витватерсранда дискусионен. Большинство местных геологов поддерживают гипотезу наличия палеороссыпей с последующим метаморфическим преобразованием рудоносных конгломератов. Кроме того, существуют эоловая, гидротермально-осадочная, гидротермально-осадочно-метаморфическая и магматическая модели рудообразования.

Цель. Установить генезис месторождений Витватерсранда.

Материалы и методы. Анализ опубликованной литературы и фактических данных.

Результаты. Месторождения Витватерсранда являются комплексными. Из них наряду с золотом, серебром и ураном попутно добывают осмириды и алмазы. Такой набор полезных компонентов не известен ни на одном из месторождений магматического или гидротермального генезиса. Учитывая приуроченность полезных компонентов к конгломератам, детритный характер большей части золотин и наличие разнообразных сопутствующих минералов тяжелой фракции, характерных для магматических пород кислого, основного и ультраосновного состава, гипотеза о первичной аллювиальной природе месторождений Витватерсрандской провинции выглядит наиболее обоснованной.

Заключение. Фактический материал указывает на аллювиальное происхождение месторождений Витватерсранда с последующим метаморфическим преобразованием рудоносных рифов. На первичное аллювиальное формирование рудоносных конгломератов указывает приуроченность золота и урана к русловым фациям с тенденцией накопления в базальных горизонтах рифов, наличие окатанных частиц золота, несущих следы транспортировки в аллювиальных потоках, а также набор минералов тяжелой фракции шлиха, характерный для россыпей.

Ключевые слова: золотоносная провинция, россыпь, конгломераты, золото, серебро, ртуть, уран, осмириды, алмазы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Степанов В.А. Комплексные палеороссыпи Витватерсранда. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):8—22. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-8-22>

Статья поступила в редакцию 02.07.2020

Принята к публикации 18.04.2021

Опубликована 31.05.2021

WITWATERSRAND COMPOSITE PALEOPLACERS

VITALIY A. STEPANOV

*Scientific Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
30, Northeast Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia*

ABSTRACT

Background. The Witwatersrand gold province located in South Africa is the richest in the world. The Witwatersrand deposits are composite, where osmirids and diamonds are mined along with gold, silver and uranium. The genesis of the Witwatersrand deposits is controversial. Most local geologists support the hypothesis of the presence of paleoplacer deposits with subsequent metamorphic transformation of ore-bearing conglomerates. In addition, there are aeolian, hydrothermal-sedimentary, hydrothermal-sedimentary-metamorphic and magmatic models of ore formation.

Aim. To establish the genesis of the Witwatersrand deposits.

Materials and methods. Analysis of published literature and factual data.

Results. Osmirids and diamonds are mined along with gold, silver and uranium from the composite Witwatersrand deposits. Such a set of useful components is not known in any of the deposits of magmatic or hydrothermal genesis. Considering the confinement of useful components to conglomerates, the detrital nature of most of the gold grains and the presence of various accompanying minerals in the heavy fraction, characteristic of igneous rocks of felsic, basic and ultrabasic composition, the hypothesis of the primary alluvial nature of the deposits of the Witwatersrand province looks the most reasonable.

Conclusions. The factual material indicates an alluvial origin of the Witwatersrand deposits with subsequent metamorphic transformation of ore-bearing reefs. The primary alluvial formation of ore-bearing conglomerates is indicated by the confinement of gold and uranium to channel facies with a tendency to accumulate in the basal horizons of the reefs, the presence of rounded gold particles bearing the traces of transportation in alluvial flows, as well as a set of minerals in the heavy fraction of concentrate, characteristic of placers.

Keywords: gold-bearing province, placer, conglomerates, gold, silver, mercury, uranium, osmirids, diamonds

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study

For citation: Stepanov V.A. Witwatersrand composite paleoplacers. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2020;63(4):8—22. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-8-22>

Manuscript received 02 July 2020

Accepted 18 April 2021

Published 31 May 2021

Расположенная в Южной Африке золотоносная провинция Витватерсранд является наиболее богатой в мире. Это крупнейшее сосредоточение золота в структурах Земли, в котором находится около 70 тыс. т золота, из которых 40 тыс. т уже добыто [10]. Несмотря на более чем столетние исследования месторождений провинции, до сих пор не кончаются споры о генезисе золота Витватерсранда. Большинство местных геологов поддерживают гипотезу наличия здесь палеороссыпей. Но существует ряд вопросов: отсутствие ясно выраженных источников сноса рудного вещества,

малые размеры и высокая ртутистость самородного золота, обогащение золотом глинистых составляющих разреза, наличие пиритовой дробы, геохимические ассоциации S-Fe-As-Cu и U-C-Ti и другие [5]. Они заставляют модернизировать осадочную гипотезу и предлагать гидротермально-осадочную [29] или гидротермально-осадочно-метаморфическую модель рудообразования [4, 8, 16, 22]. Н.А. Шило относит Витватерсранд к месторождениям гидротермально-метасоматического генезиса. По его мнению, месторождение сформировалось в мезозоне земной коры, куда

со значительной глубины из одного источника и в течение длительного времени поступали золото, серебро, уран. К транспорту элементов, скорее всего, причастны флюиды, насыщенные цианидами или другими золотосодержащими комплексами, растворимыми в термах [19]. Обзор публикаций по изотопии серы, кислорода и углерода не снял дискуссионности вопроса об источниках поставки золота, установил отдельные источники поставки золота и урана и подтвердил действие в архее фотосинтеза как механизма пополнения кислорода в атмосфере [6]. В некоторых работах обосновывается магматическая модель формирования руд месторождения [3, 9, 15, 22].

На наш взгляд, главная особенность месторождения — это нахождение промышленных концентраций не только золота с входящими в его состав серебром и ртутью, но и попутно извлекаемых минералов урана, иридоминов и алмазов. Такой набор полезных компонентов характерен для россыпей Каапвальского и расположенного севернее Зимбабвийского кратонов, но не встречается в совокупности в пределах конкретных месторождений магматического или гидротермального генезиса.

Геологическое строение провинции

Золотоносная провинция Витватерсранд приурочена к крупной мульде или синклинорному прогибу в центральной части Каапвальского кратона. Прогиб вытянут в северо-восточном направлении на 400 км при ширине порядка 200 км (рис. 1). Он представляет собой эрозионный останец от значительно более обширного бассейна, который формировался в течение длительного интервала времени (3074—2714 млн лет) в центральной и южной частях Каапвальского кратона [39]. Судя по форме бассейна и расположению в нем золотоносных районов, провинция представляет собой северо-западную половину крупной структуры центрального типа. Площадь провинции (80 тыс. кв. км) мала по сравнению с другими золотоносными провинциями мира, но масштабы золотого оруденения являются уникальными. Прогиб осложнен куполовидными структурами, в которых выходят на поверхность гранитоиды и гнейсы основания. Выше располагается толща терригенно-осадочных пород архея системы Витватерсранд, представленная ритмичным чередованием конгломератов, кварцитов, песчаников и сланцев с горизонтами основных и кислых эффузивов. Мощность ее около 8 км. Нижний отдел системы Витватерсранд (Доминион, Западный Ранд) состоит

преимущественно из тонкозернистых кварцитов и сланцев, а верхний (Центральный Ранд) насыщен грубообломочными фациями, в том числе рудоносными конгломератами, именуемыми рифами. В Центральном Ранде заключены основные горизонты конгломератов: Майн, Майн Лидер, Южный и Карбон Лидер. Эти отложения разбиты многочисленными разломами, сопровождаемыми приразломной складчатостью.

В разрезе осадочных толщ конгломераты составляют не более 0,2% мощности, слагая 16 самостоятельных горизонтов (рифов), к которым приурочено золотое и урановое оруденение с сопутствующими осмиридами и алмазами. Главные ресурсы золота и платиноидов располагаются в конгломератах Центрального Ранда (Central Rand Group); их добыча ведется шахтным способом в пределах семи золотоносных районов: Эвандер, Восточный Ранд, Центральный Ранд, Западный Ранд, Карлетонвил, Клерксдорп и Велком.

Рудоносные конгломераты (рифы) прослежены по простиранию примерно на 350 км в дугообразно изогнутой к северо-западу полосе. Слои наклонены к центру этой полукольцевой структуры под углом от 25—30° до (реже) 70—80°. Они обрабатываются шахтами до глубины почти 4000 м.

Строение и параметры рифов

Рудные горизонты не представляют собой, как полагают многие, непрерывные пласты вроде каменного угля. Это обычно руслообразные в плане линзы и полосы. Полезные компоненты (уран и золото) распределяются не по всей массе пласта, а зависят от вещественного состава вмещающих пород. В сульфидных конгломератах оруденение связано с сульфидами и локализуется чаще в подошве рифа. Если пласт обогащен тухолитом, то оруденение концентрируется в прослоях углистого вещества, причем обычно такие прослойки находятся на верхней кромке рифа. Однако это правило выдерживается далеко не всегда, и нередко наблюдается обратное расположение обогащенных и бедных участков. Мощность рудных горизонтов изменяется от нескольких сантиметров до 1,5 м, но промышленная часть составляет только треть общей мощности. Средняя мощность обычно равна 0,3 м [7].

Рудные пласты группируются в разрезе в конгломератовые пачки по 2—4 пласта. Такие пачки прослеживаются на десятки километров. Внутри пачки содержание полезных компонентов в каждом пласте непостоянно и на значительные расстояния не выдерживается. Приуроченность золота

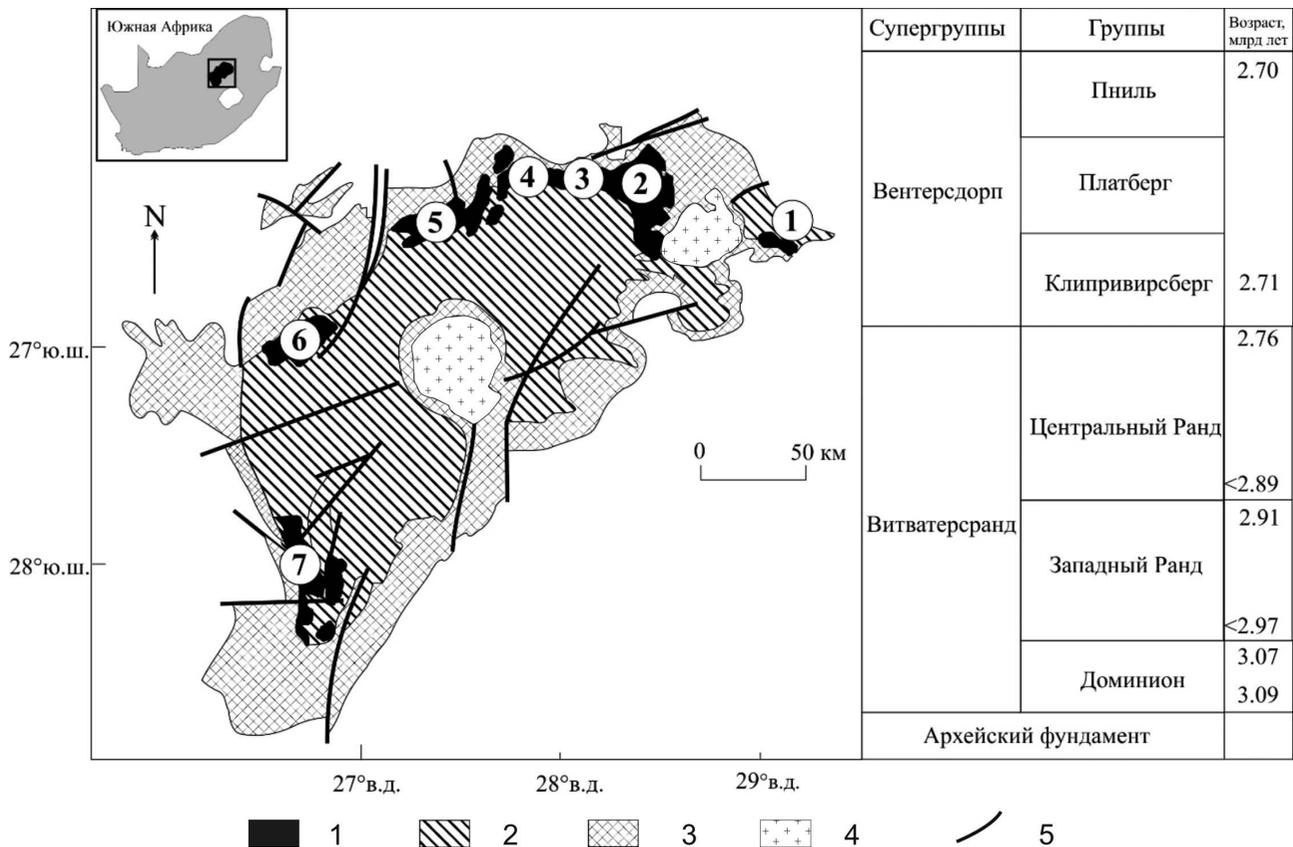


Рис. 1. Схематическая карта Витватерсрандской провинции и местоположение главных золоторудных районов [25]: 1 — золоторудные районы и их номера (1 — Эвандер, 2 — Восточный Ранд, 3 — Центральный Ранд, 4 — Западный Ранд, 5 — Карлетонвил, 6 — Клерксдорп, 7 — Велком), 2 — Центральный Ранд, 3 — Западный Ранд и Доминион, 4 — гранитоиды, 5 — разломы

Fig. 1. Schematic map of the Witwatersrand province and the location of the main gold-bearing areas [25]: 1 — gold-bearing areas and their numbers (1 — Evander, 2 — Eastern Rand, 3 — Central Rand, 4 — Western Rand, 5 — Carletonville, 6 — Klerksdorp, 7 — Welkom), 2 — Central Rand, 3 — Western Rand and Dominion, 4 — granitoids, 5 — faults

и урана к руслам и руслообразным струям в докембрийских осадках многие исследователи считают важнейшим доказательством россыпного генезиса Витватерсранда [12, 37]. По их мнению, русловые фации — главноеместилище золота. Очень часто в осадочных толщах, непосредственно подстилающих рудоносные пласты, промыты депрессии, вытянутые ложины или русла, заполненные галечным, иногда глинистым материалом. Эти углубления впоследствии выровнены эрозией и перекрыты новыми пластами конгломератов. Однако такие депрессии содержат рудные минералы не на всем протяжении, а только локально. Наиболее крупный риф Витватерсранда вытягивается извилистой лентой на расстояние 1350 м при максимальной ширине около 360 м, что при средней мощности 0,3 м и содержании золота в 10,9 г/т дает около 4 т металла.

Обычно рудные тела имеют меньшие размеры. Как отмечает Л.Т. Нел [12], промышленные прослои в рифах Футуол залегают согласно напластованию русловых осадков и следуют извилистому направлению русел. Более высокие содержания золота и урана имеют тенденцию сосредотачиваться в базальных частях рудоносных пластов конгломератов. Минерализация не переходит из рудоносных конгломератов и русловых отложений в конгломераты, кварциты или песчаники, слагающие стенки русел, несмотря на то что по характеру этих пород нет каких-либо оснований предполагать, что они были недоступны для проникновения минерализующих растворов. Здесь речь идет о рудах, не содержащих тухолита. При наличии последнего обогащенными становятся верхние части пластов, где скапливается и сам тухолит. Рудные скопления в конгломератах русел бывают богаче,

чем в пластах, которые они предположительно размывали, что считается признаком переотложения поверхностными водами рудных минералов. К этому доказательству привлекают иногда факт уменьшения концентрации оруденения «вниз по течению» от точки, в которой русло прорезает рудные конгломераты подстилающей толщи. Там, где русловые конгломераты налегают на безрудные толщи, они также не содержат оруденения.

Состав конгломератов

Конгломераты Ранда, по существу, являются мономиктными породами, гальки которых представлены только кварцем. Изредка встречаются гальки тонкозернистого кварцита и окремненного известняка. Описаны единичные гальки кварцитов, кремней, кварцевых порфиров, кристаллических сланцев, гранитов и джеспилитов [34], но эти находки относятся к горизонту Блэк-Риф. Некоторые исследователи отмечают присутствие в конгломератах Витватерсранда обломков и гальки кварца, сохранившего своеобразные полосчато-фестончатые текстуры и реликты колломорфного строения. Особенности строения такого кварца сопоставлены с текстурами золотоносного кварца из месторождений Бaleyского рудного поля Забайкалья [22].

Цвет галек в конгломератах несколько отличается. В горизонте Доминион-Риф кварцевые гальки однокристалльные темно-серые, слегка синеватые и погружены в травяно-зеленый цемент кварц-хлорит-серицитового состава. Цвет цемента определяется хлоритом. В рифах Витватерсрандской системы, особенно в Оранжевой республике, гальки голубоватые, как бы опалесцирующие, но встречаются и черные (морион). Гальки заключены в бледно-сером кварц-хлорит-серицицивом цементе. В нем преобладает серицит, а хлорит бледный яблочко-зеленый. Различия в окраске придают и сульфиды. Здесь это ярко-латунный пирит, а в конгломератах Доминион-Рифа — темный пирротин с тусклым блеском. В конгломератах Блэк-Рифа гальки не выглядят однокристалльными, они зернистые и имеют розоватый оттенок, роднящий эти конгломераты с красноцветами. Цемент кварц-серицицивый, хлорита практически нет. Среди рудных минералов преобладают окислы железа. Пирит тонко рассеян и встречается редко. Поэтому межгалечные пространства резко отделяются по цвету от галек.

Минералы цемента. Главный минерал цемента — кварц во всех разновидностях конгломератов и на всех стратиграфических уровнях.

Следующими по распространенности из нерудных минералов являются серицит и хлорит, а также пирофиллит и хлоритоиды. Реже отмечаются кальцит, доломит и турмалин. Из сульфидов преобладает пирит, затем идут пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит, кобальтин, арсенопирит и линнеит [34].

Среди минералов тяжелой фракции обычны хромит, ильменит, гранаты, шпинели, монацит, циркон, турмалин, пирохлор, рутил, лейкоксен, касситерит и др. Причем не всегда ясно — обломочные они или новообразованные. В конгломератах есть прожилки, выполненные всеми перечисленными минералами, включая монацит. В таблице 1 отражена распространенность главных минералов цемента в разных рифах. Набор минералов в цементе конгломератов схож с комплексом минералов тяжелой фракции шлиха россыпных месторождений золота.

Для суждения о генезисе оруденения в конгломератах важнейшее значение имеют кварц и сульфиды.

Кварц. В цементе находится в двух разновидностях. Одна из них — это округлые зерна обломочного происхождения. Особенность зерен в том, что они всегда монокристалльны. В рифах верхних формаций Витватерсрандской, Ватербергской и Трансваальской систем заметно нарастание вторичных каемок вокруг окатанных зерен кварца. При этом оптическая ориентировка каемок одинакова с самим зерном. Между зернами и гальками кварца иногда наблюдаются микростилолитовые сопряжения, причем стилолиты прорывают только регенерационную каемку, если она существует. Вторая разновидность кварца считается переотложенной. Это тонкозернистые прожилки, «заливы» выполнения межзерновых и межгалечных пространств. Такой кварц образует несколько генераций, поскольку отчетливо наблюдается пересечение кварцевыми микропрожилками перекристаллизованного кварца межзерновых пространств и галек. В конгломератах серии Доминион-Риф изредка вместе с вторичным кварцем встречается микроклин, идиоморфный по отношению к кварцу. Вместе с вторичным кварцем слоистые минералы и хлориты образуют агрегаты, тончайшие срастания. Если возникают прожилки, хлориты располагаются преимущественно по зальбандам. Тонкочешуйчатые белые слюдки размещаются по всему прожилку, но тенденция к накоплению в зальбандах все же сохраняется. Интересно, что чешуйчатые минералы огибают обломочные зерна и гальки, но иногда

Таблица 1. Минералогический состав цемента конгломератов месторождения Витватерсранд [2]
Table 1. Mineralogical composition of cement conglomerates of the Witwatersrand deposit [2]

Распространенность	Доминион-Риф	Витватерсранд	Вентерсдорп, Контакт-Риф	Блэк-Риф
Преобладают	Кварц Хлорит Серицит Пирофиллит Хлоритоид Пирротин Пирит	Кварц Серицит Пирофиллит Хлоритоид Пирит	Кварц Хлорит Серицит Пирофиллит Хлоритоид Пирит	Кварц Хлорит Пирит Углистое вещество Серицит
Обычный	Золото Уранинит Урановая смолка Галенит Сфалерит Осмистый иридий Халькопирит Арсенопирит Касситерит Монацит Шпинель Гранат Циркон Корунд Дистен	Золото Уранинит Тухолит Урановая смолка Пирротин Галенит Сфалерит Халькопирит Кобальтин Линнеит Циркон Циртолит Осмистый иридий	Золото Уранинит Тухолит Урановая смолка Пирротин Галенит Сфалерит Халькопирит Пентландит Осмистый иридий Циркон Циртолит	Золото Уранинит Сфалерит Урановая смолка Халькопирит Пирротин Галенит Осмистый иридий
Встречаются редко или в отдельных частях рифов	Тухолит Хромит Рутил Кобальтин Ильменит Марказит Танталит Пирохлор Молибденит	Монацит Гранат Ксенотим Шпинель Касситерит Кальцит Турмалин Рутил Анатаз Ильменит Арсенопирит Марказит Герсдорфит Миллерит Кубанит Троилит Платина Алмаз	Монацит Ильменит Рутил Анатаз Кобальтин Линнеит Марказит Хромит Гранат Касситерит Турмалин	Тухолит Циркон Хромит Арсенопирит Турмалин

как бы внедряются в тело гальки вместе с вторичным кварцем. Такое явление отмечается обычно с той стороны гальки, которая направлена «по течению» русла, а огибание слюдистыми минералами наблюдается на плоскостях наслоения.

Пиритовая дробь

К «пиритовой дроби» или «картечи» относят округлые, похожие на гальки образования пирита, часто встречаемые в конгломератах. Исследование Н.А. Шило и М.Е. Захаровой показало,

что сфероидальные агрегаты имеют почти правильную округлую шаровидную, иногда каплевидную форму. Размер зерен — от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Поверхность сферидов ровная, без следов механических повреждений, типичных для минералов, подвергнутых аллювиальной обработке [20]. Содержание такого пирита составляет 3—5%. С горизонтами их развития часто связаны повышенные содержания золота. Пирит золотоносен на уровне сотен г/т. Разнообразности «пиритовой дроби» показаны на рисунке 2.

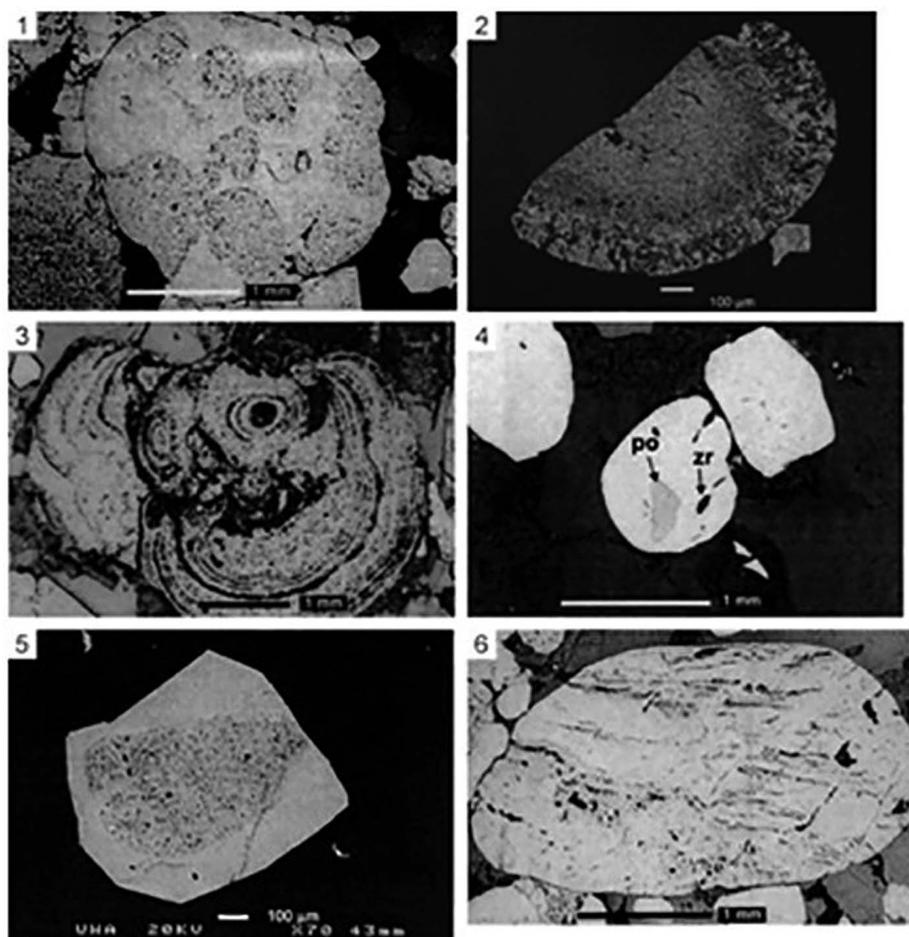


Рис. 2. Пиритовая дробь из конгломерата Стейн-Рифа шахты Велком, фото в отраженном свете [24]: 1 — двухфазное внутреннее строение округлого зерна пирита, 2 — обломок конкреции пирита с коркой радиально-лучистого тонко структурированного агрегата, 3 — зерно пирита колломорфной текстуры (псевдоморфоза по карбонатному ооиду), 4 — компактный пирит различной степени окатанности с включениями пирротина и циркона, 5 — зерно пористого пирита с обрастанием компактным пиритом эвгедральной формы, 6 — «полосчатый» округлый пирит (псевдоморфоза по глинистым сланцам?)

Fig. 2. Pyrite fraction from the Stein Reef conglomerate of the Welkom mine, photo in reflected light [24]: 1 — two-phase internal structure of a rounded pyrite grain, 2 — a fragment of a pyrite nodule with a crust of a radially radiant finely structured aggregate, 3 — a grain of pyrite of a collomorphic texture (pseudomorphosis according to a carbonate ooid), 4 — compact pyrite of various degrees of edging with inclusions of pyrrhotite and zircon, 5 — a grain of porous pyrite with fouling with compact pyrite of the euhedral form, 6 — “striped” rounded pyrite (pseudomorphosis according to clay shales?)

Многие исследователи считают эти выделения пирита обломочными россыпными образованиями. В противовес им Н.А. Шило отмечал, что в большинстве шлиховых комплексов из различных россыпей мира, среди которых аллювиальные месторождения занимали значительное место, ни разу не был отмечен «окатанный» пирит, сходный с «пиритовой дробью» месторождения Витватерсранд. Это понятно, так как пирит обладает такими физическими свойствами, которые при транспортировании в водно-аллювиальной

среде способствуют дроблению минерала, его крошению, поэтому он не окатывается [19].

Но существует мнение о гидротермально-осадочном происхождении «пиритовой дроби» [14, 21]. И.Н. Шумская установила идентичность морфологии пиритовых зерен Витватерсранда и пиритовых конкреций в осадках современных морей [21]. В.М. Округин и Д.А. Яблокова пришли к выводу о схожести «пиритовой дроби» со стяжениями пирита из термальных источников Камчатки [14].

Полезные компоненты

Главную промышленную ценность месторождения представляют золото и уран, попутно добываются осмириды и алмазы.

Золото. С 1986 г. по настоящее время добыто около 50 тыс. т золота. Максимальная добыча в 1000 т отмечалась в 1970 г., а затем уменьшалась. Содержание золота составляло от 8 до 20 г/т, иногда доходило до 3000 г/т. Золото Витватерсранда почти целиком сосредоточено в конгломератах. Например, исследование золотой фракции конгломератов Витватерсранда из месторождения в Оранжевой республике подтвердило, что основная часть этого металла сосредоточена в донных частях «рифов», главным образом вблизи контактов с подошвой [41]. Однако это не всегда так и касается только сульфидных разновидностей конгломератов. При наличии тухолитов золото связано с ними. Оно не подчиняется гравитации [31] и приурочено к кровле пласта. Золото есть и в кварцевых жилах, пересекающих риф, и в послойных прожилках, которые лежат обычно ниже рифа Мейн-Риф-Лидер. В конгломератах Витватерсранда золото наблюдается в нескольких разновидностях. Оно очень мелкое, особенно в богатых рудах, а чаще вообще микроскопическое, так как входит в состав пирита. Но в отдельных рифах присутствует золотины размером 0,3—1,0 мм [35]. Самородки, типичные для большинства современных россыпей, отсутствуют.

Округлые, овальные зерна золота считаются первично россыпными. Такое золото отмечено почти во всех рифах, за исключением Блэк-Рифа и Доминион-Рифа. Детально исследованы форма и размеры золотин из Базального рифа месторождения Витватерсранд [32]. Тысячи золотин были выделены в результате кислотного растворения кварцевых конгломератов. Размеры частиц золота колебались между 0,038 и 0,473 мм. Они имеют логнормальное распределение со средним диаметром 0,136 мм и стандартным отклонением 0,48. Преобладающие формы золотин дисковидные с тороидальными краями. Они обнаруживают абразионные текстуры поверхности, которые характерны для россыпного золота. Бугристая поверхность золотин месторождения Витватерсранд схожа с поверхностью окатанных золотин как из девонских, так и из молодых россыпей, а также золотин, обработанных в барабане с песком и галькой в воде [32]. Тороидальная форма некоторых золотин указывает на значительную роль золовых процессов в переносе золота [13].

Другой разновидностью является вторичное золото, составляющее около 25% общего содержания. Оно более мелкое, имеет интерстициальную или губчатую формы, нередко нарастает на поверхность пирита и обломочного золота, а также образует тончайшие каемки вокруг зерен пирита, уранинита, пирротина и других минералов. Золото выполняет пустотки в цементе и промежутки между обломочными составляющими, замещает минералы основной массы, такие как хлорит, мусковит, кварц, причем последний чаще других. Иногда золотом замещаются пирит, осмистый иридий, реже такие сульфиды, как пирротин, халькопирит, кобальтин, сфалерит, галенит, арсенопирит линнеит, пентландит или выполняются тончайшие трещинки в «пиритовой дробе», цирконе, кварце, осмистом иридии [32]. Следует отметить находку мирмекитовых сростаний линнеита (Co_3S_4), золота и пирротина в базальном рифе Витватерсрандской системы в Оранжевой республике [40].

Д. Холлбауер выделил три типа золота в золотоносных рифах Витватерсранда: детритное (detrital) золото, «биохимически» отложенное золото и рекристаллизованное золото [26]. Детритное золото несет следы транспортировки в аллювиальных потоках, выраженные в деформации, истирании и сплющивании частиц золота (рис. 3). Редко наблюдаются сростки между золотом и сфалеритом, кобальтином, герсдорфитом, халькопиритом, бравоитом, пиритом и молибденитом. Эти минеральные ассоциации указывают на первичный источник, подобный месторождениям порфирирового типа. Слои углеродистого вещества слагают окаменелые маты докембрийских растений. Тонкие частицы золота задерживались на этих матах (рис. 4). Кроме того, в углеродистом веществе наблюдается биохимически осажденное золото в виде частиц неправильной формы, часто тонких переплетенных или разветвленных нитей, похожих на водоросли или грибковые нити. Большинство нитей имеют средний диаметр 1—2 мкм. Рекристаллизованное золото является продуктом более поздних процессов, связанных с метаморфизмом осадков. Оно нередко осаждается на гранях вторичного пирита (рис. 5) или выполняет в нем тонкие трещинки или интерстиции.

Проба золота, без разделения на детритное и вторичное, колеблется от 906 до 935‰, составляя в среднем для базальных рифов Витватерсрандской системы 925‰. Отношение Ag/Au — 0,0812 [40]. Для Оранжевой республики содержание серебра в золоте составляет 9,9—12,4%. В слитках получено золото 882 пробы. Примесь ртути в золоте

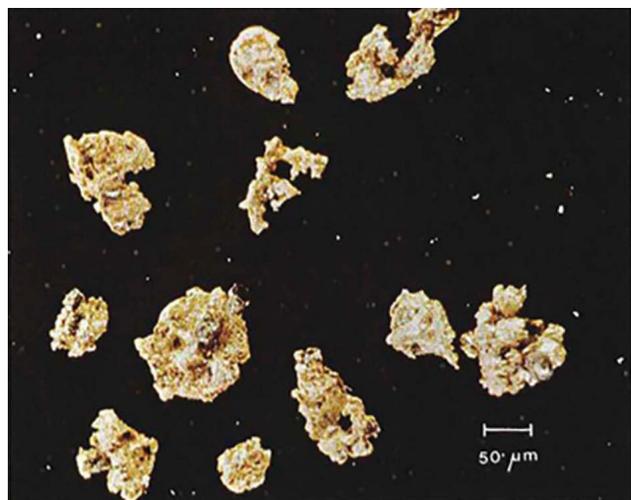


Рис. 3. Зубчатые, частично сплюснутые частицы золота, извлеченные из образца В-Рифа, месторождения Лорейн Оранжевой республики [26]
Fig. 3. Jagged, partially flattened gold particles extracted from the B-Reef sample, the Lorain deposit of the Orange Republic [26]

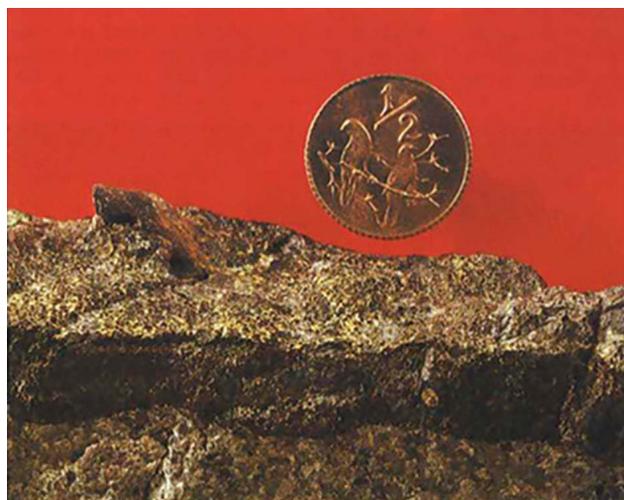


Рис. 4. Образец Базал-Рифа месторождения Святой Елены Оранжевой республики с углеродистым слоем, аккумулирующим тонкозернистые детритные частицы золота [26]
Fig. 4. A sample of the Basal Reef of the St. Helena deposit of the Orange Republic with a carbonaceous layer accumulating fine-grained detritus particles of gold [26]



Рис. 5. Вторичное золото на кристалле пирита, Контакт-Риф, месторождение Вестерн Дип Левел, Вентерсдорп [26]
Fig. 5. Secondary gold on a pyrite crystal, Contact Reef, Western Deep Level deposit, Ventersdorp [26]

палеороссыпи Карбон-Лидер-Рифа в других месторождениях составляет 1,2—5,9% [33]. В палеороссыпи Ваал Керксдорпского района средние составы зерен золота варьируют от 80 до 95 весовых процентов Au, от 4 до 18 весовых процентов Ag и от 0,5 до 4 весовых процентов Hg, со средним составом (в %): Au — 90, Ag — 8, Hg — 2 [38].

Д. Холлбауэр и Т. Уттер установили связь между морфологическими особенностями и пробой

частиц золота, а также расстоянием, на которое они были перенесены. Показано, что большинство частиц золота из конгломератов Витватерсранда сохранили свою детритную морфологию. Сравнение их с частицами из молодых аллювиальных россыпей позволило оценить расстояние переноса золота Витватерсранда, которое в большинстве случаев составляло от 10 до 30 км. Частицы золота в молодых россыпях проявляют характерный рост пробы с увеличением расстояния переноса из-за выщелачивания серебра. Но золото в россыпях Витватерсранда сохранило первичную пробу, поскольку в кислорододефицитной атмосфере архея выщелачивание серебра не происходило [27]. Что касается существенной примеси ртути в золоте Витватерсранда, то даже в современных россыпях при длительной транспортировке ртутистого золота она сохраняется в центральной части окатанных золотин в концентрациях, близких к первичным [17].

Уран. На месторождении Витватерсранд отмечают следующие радиоактивные минералы: уранинит, тухолит, торинит, браннерит, торит, монацит, бетафит, эвксенит, лейкоксен и циркон. Концентрация U_3O_8 в рифах достигает 0,02—0,05%. Добыча урана колебалась от 3,2 (1976 г.) до 5,5 тыс. т (1979 г.) в год. Запасы окиси урана оцениваются в 150—170 тыс. т.

Уранинит представляет главную промышленную ценность среди радиоактивных минералов. Только

в конгломератах Блэк-Рифа он является подчиненным при преобладании тухолита. Существует несколько разновидностей уранинита. Самая распространенная — зерна или гроздьевидные скопления овальных или округлых зерен, размещающихся в цементе конгломератов. Кроме округлых, встречаются изометричные зерна. Иногда в одном и том же зерне одна сторона овальная, а другая угловатая. Измерение 25 тыс. зерен уранинита, произведенное В. Либенбергом [30], показывает среднюю величину 75—100 мк. Округлая форма зерен дала основания считать их окатанными. Многие зерна уранинита окаймлены отросточками пирита, других сульфидов и золота. Около зерен уранинита кварц-серицитовые агрегаты становятся более мелкозернистыми. Уранинит бывает свежим и измененным. Последний более тусклый, с типичной каймой «выветривания», трещиноват. По трещинкам проникают кварц, серицит, хлорит, сульфиды, золото. Особенно хорошо округлая форма зерен видна при выделении их из концентратов. В этом случае зерна имеют смоляной блеск и бархатисто-черную окраску. Содержание тория в уранинитах составляет примерно 1,5%, а редких земель в сумме не более 2,18%.

Урановая смолка — переотложенный минерал. Он не образует самостоятельных зерен, а выполняет трещинки, каемки вокруг зерен первичного уранинита. Имеются и псевдоморфозы смолки по ураниниту. Смолка отмечается и на некотором расстоянии от первичного уранинита, где выполняет промежутки между зернами кварца, пирита, хромита, циркона и трещинки в перечисленных минералах. Смолка встречается в ассоциации с сульфидами: пиритом, пирротинном, галенитом, пентландитом, халькопиритом. Обнаружена смолка и среди скоплений зернистого тухолита, в этом случае в ней особенно много субмикроскопических вкраплений галенита. Урановая смолка выполняет тончайшие прожилки в цементе и в гальках кварц [30].

Осмириды. Среди минералов платиновой группы (МПГ) преобладает осмистый иридий. Он встречается во всех рифах Витватерсранда. Содержание осмистого иридия изменяется от 3 до 28 г/т, в год добывается около 200 кг концентрата МПГ [4]. Зерна осмистого иридия в сростании с самородной платиной отмечаются в цементе конгломератов, они обрастают новообразования самородного золота и пирита. Размеры МПГ в цементе конгломератов в пределах от 70 до 150 мк.

И.Ю. Баданина и соавт. изучили состав и изотопно-геохимические особенности Ru-Os-Ir

сплавов из конгломератов рифа Кимберли рудного района Эвандер Витватерсранда [1]. Представительная выборка минералов платиновой группы состояла из 950 зерен размером от 60 до 150 мк, выделенных из производственного концентрата. Исследование химического состава минералов выполнено при помощи рентгеноспектрального микроанализа. Подавляющее большинство исследованных минералов платиновой группы представлены Ru-Os-Ir(\pm Pt) сплавами в составе мономинеральных индивидов или полиминеральных ассоциаций. Для Ru-Os-Ir(\pm Pt) сплавов характерны значительные вариации состава. По номенклатуре [28] минералы рутения преобладают над минералами осмия, иридия и рутениридосмином. Ru-Os сульфиды встречаются в составе полиминеральных зерен и по химическому составу соответствуют лауриту и эрликманиту, образующими непрерывный ряд твердых растворов. Поликомпонентные твердые растворы системы Ru-Os-Ir-Pt(\pm Fe) установлены в составе как мономинеральных, так и полиминеральных ассоциаций, в которых они образуют ядерную часть, облекаемую оторочкой сперрилита ($PtAs_2$), реже — Ru-Os сульфидами или Ru-Os-Ir-Rh сульфоарсенидами (табл. 2).

Источником сноса МПГ в палеороссыпи Витватерсранда, по-видимому, был расположенный непосредственно к северо-востоку Бушвелдский массив основных и ультраосновных пород, содержащий промышленные скопления платиноидов.

Алмазы. Обнаруженные в конгломератах ряда месторождений Витватерсранда, алмазы были извлечены при промывке материала, пропущенного через шаровые мельницы для извлечения золота [36]. Алмазы отмывались вместе с золотом вследствие более высокого удельного веса по сравнению с другими нерудными минералами. На фотографии показано 38 алмазов, самый большой из которых весит 1,53 карата, а самый маленький 0,08 карата (рис. 6).

Все кристаллы хорошо огранены, имеют форму октаэдров и додекаэдров. Цвет алмазов меняется от желтовато-зеленого через густо-зеленый до почти черного, причем окраска охватывает только наружные слои. Глубокая окраска поверхности соответствует алмазам, облученным альфа- или бета-частицами высокой энергии. Окраска произошла, по всей вероятности, за счет облучения ураном ввиду наличия в конгломератах уранинита и тухолита. Источниками алмазов, вероятнее всего,

Таблица 2. Химические составы МПГ золоторудного поля Эвандер [1]
Table 2. Chemical compositions of MPG of the Evander gold field [1]

Компо- нент	Анализ, мас. %													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	0,00	1,39	0,25	0,54	0,00	0,73	3,14	2,97	5,32	7,21	9,10	0,00	0,16	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
Ru	40,46	32,97	35,76	28,38	39,42	38,46	33,50	22,39	16,25	7,34	1,70	57,90	0,00	8,23
Rh	0,00	0,00	2,00	2,19	2,87	0,00	0,76	2,29	1,36	0,53	3,07	2,19	0,00	0,00
Os	28,00	23,36	34,21	19,50	29,02	19,32	10,20	2,46	10,57	2,94	0,36	0,44	64,63	49,07
Ir	25,97	18,28	16,77	14,15	18,10	20,63	10,06	12,41	6,93	8,27	0,00	0,64	34,34	16,17
Pt	4,51	24,00	11,02	34,56	10,57	20,85	42,51	57,13	59,07	73,85	84,67	0,00	0,00	0,00
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,29	0,00	26,49
Сумма	100,08	99,86	100,06	99,85	100,03	100,21	100,17	99,89	99,50	100,14	99,05	99,46	99,13	99,96

Примечание: по данным рентгеноспектрального микроанализатора [1], анализы: 1 — (Ru, Os, Ir), 2 и 4 — (Ru, Pt, Os, Ir), 3 и 5 — (Ru, Os, Ir, Pt}, 6 — (Ru, Ir, Pt, Os), 7 — (Ru, Pt), 8 — (Pt, Ru}, 9 — (Pt, Ru, Fe), 10 — (Pt, Fe, Ru), 11 — Pt-Fe-сплав, 12 — лаурит, 13 — Ir-содержащий осмий, 14 — эрликманит.

были алмазонасные кимберлиты, расположенные севернее месторождений Витватерсранда.

Обсуждение результатов

Своеобразие золотоносной провинции Витватерсранд заключается не только в уникальном богатстве месторождений и небольшой площади, но и в том, что она является чисто россыпной провинцией. Месторождения золота в ней представлены только россыпями. Другие золотоносные провинции мира являются рудно-россыпными. В них расположены как рудные, так и россыпные месторождения в разных пропорциях. Например, Центрально-Колымская и Приамурская провинции России являются преимущественно россыпными, а Камчатская — преимущественно рудной.



Рис. 6. Фото алмазов Витватерсранда [36]
Fig. 6. Photo of the Witwatersrand diamonds [36]

Отсутствие золоторудных месторождений на площади провинции поднимает непростой вопрос о коренных источниках сноса золота. По-видимому, ими являлись золоторудные месторождения зеленокаменных поясов Каапвальского, а возможно, и Зимбабвийского кратона. Поэтому длительность переноса золота в россыпях была значительной. Тороидальные формы тонких золотин Витватерсранда указывают на их вероятный золовый перенос. Можно предположить, что в архее на территории юга Африканского континента было гораздо больше пустынь ввиду отсутствия растительности. Золовым переносом можно объяснить как наличие в конгломератах месторождений Витватерсранда преобладающих мелких фракций золота, так и отсутствие самородков.

Определенный интерес представляет состав самородного золота Витватерсранда. Это высокопробное ртутистое золото с содержанием ртути, по данным разных исследователей, от 0,5 до 5,9%, в среднем 2% [33, 38]. Следовательно, при обработке месторождений вместе с золотом было извлечено около тысячи тонн ртути. Ртутистое золото характерно для верхней фронтальной части ряда золоторудных месторождений, но наиболее часто встречается в месторождениях золото-ртутной формации, например известного карлинского и других типов [18]. Значительная примесь ртути в золоте месторождения архейского возраста предоставляет возможность изучения изотопного состава древней ртути. Известно, что ртуть имеет семь стабильных и ряд радиоактивных изотопов, в ней постоянно происходят процессы ядерного перехода некоторых изотопов ртути в другие элементы [23]. Поэтому не исключена возможность определения по изотопному составу ртути

изотопного возраста ртутистого золота, широко распространенного в золоторудных месторождениях разных типов.

Осмириды нередко отмечаются в россыпных месторождениях золота. Например, в Приамурской золотоносной провинции России они нередко встречаются в количествах, достаточных для попутного извлечения [11]. В россыпях Гарьского узла Приамурья встречаются рутениридосмины, иридосмины, изоферроплатина, самородная платина и эрлихманит. Коренными источниками сноса служат серпентинизированные гипербазиты позднего протерозоя. Алмазы, хотя и значительно реже, также встречаются в россыпях золота не только Якутии, но и Приамурья.

Месторождения Витватерсранда являются комплексными. Из них наряду с золотом, серебром и ураном попутно добывают осмириды и алмазы. Такой набор полезных компонентов не известен ни на одном из месторождений магматического или гидротермального генезиса. Учитывая приуроченность полезных компонентов к конгломератам, детритный характер большей части золотин и наличие разнообразных сопутствующих минералов тяжелой фракции, характерных для магматических пород кислого, основного и ультраосновного состава, гипотеза о первичной аллювиальной природе месторождений Витватер-

срандской провинции выглядит наиболее обоснованной.

Заключение

Проведенное исследование показало своеобразие золотоносной провинции Витватерсранд, которое заключается не только в небольшой площади и уникальном богатстве месторождений рудоносных конгломератов, но и в том, что она является россыпной, в отличие от других рудно-россыпных провинций мира. Из комплексных палеороссыпей Витватерсранда наряду с золотом, серебром и ураном попутно добывают осмириды и алмазы, такой набор полезных компонентов вместе не встречается ни в одном из рудных месторождений магматического или гидротермального генезиса. Приведенный фактический материал указывает на аллювиальное происхождение месторождений Витватерсранда с последующим метаморфическим преобразованием рудоносных рифов. На первичное аллювиальное формирование рудоносных конгломератов указывает приуроченность золота и урана к русловым фациям с тенденцией накопления в базальных горизонтах рифов, наличие окатанных частиц золота, несущих следы транспортировки в аллювиальных потоках, а также набор минералов тяжелой фракции шлиха, характерный для россыпей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баданина И.Ю., Малич К.Н., Меркле Р.К.В. и др. Химический и изотопный состав Os-содержащих сплавов и сульфидов золоторудного поля Эвандер Витватерсрандского бассейна (Южная Африка) // Литосфера. 2016. № 6. С. 129—144.
2. Беззубов А.И., Бывших Ю.И., Дементьев П.К. и др. Уран в древних конгломератах. М.: Госатомиздат, 1963. 188 с.
3. Долгушин С.С., Долгушин А.П. Генезис золото-урановых месторождений Витватерсранда (ЮАР) и проблема из аналогов // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Томск, 2017. С. 144—149.
4. Константинов М.М. Золоторудные гиганты России и мира. М.: Научный мир. 2000. 270 с.
5. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир. 2006. 358 с.
6. Косовец Т.Н. Представления о генезисе золото-урановых месторождений Витватерсранда в свете данных по изотопии серы, кислорода, углерода // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2015. №2. С. 22—33. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-2-22-33>
7. Кренделев Ф.П. Металлоносные конгломераты мира. Новосибирск: Наука, 1974. 237 с.
8. Кременецкий А.А. Южная Африка: золото, алмазы, платина // Геология — жизнь моя... Сборник очерков. Вып. 6. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. С. 297—361.
9. Маракушев А.А., Глазовская Л.И., Панеях Н.А., Маракушев С.А. Проблема происхождения ураново-золоторудного месторождения Витватерсранд. Вестн. Моск. Ун-та. 2012. Т. 4, № 3. С. 3—16.
10. Марфунин А.С. История золота. М.: Наука, 1987. 246 с.
11. Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Эйриш Л.В., Мельников А.В. Платиноносность Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2004. 176 с.
12. Нел Л.Т. Проблема генезиса уранинита в золотоносных конгломератах Южной Африки // Тр. XXI Международ. геол. конгр. М.: Мир, 1964. Вып. 3. С. 258—274.
13. Никифорова З.С. Закономерности размещения золотого золота // Отечеств. геология. 1999. № 4. С. 24—26.
14. Округин В.М., Яблокова Д.А. Сравнительный анализ сульфидных сферолитов золотоносных конгломератов Витватерсранда (ЮАР) и современных гидротермальных систем Камчатки // Вестник КРАУНЦ. 2013. № 2, вып. 22. С. 196—204.

15. *Портнов А.М.* О возможном гипогенном происхождении конгломератов Витватерсранда // Докл. АН. 1978. Т. 239, № 3. С. 664—667.
16. *Сафонов Ю.Г., Прокофьев В.Ю.* Модель конседиментационного гидротермального образования золотоносных рифов бассейна Витватерсранда // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 6. С. 475—511.
17. *Степанов В.А.* Геология золота, серебра и ртути. Часть 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. Владивосток: Дальнаука, 2000. 161 с.
18. *Степанов В.А., Моисеенко В.Г.* Геология золота, серебра и ртути. Часть 1. Золото-ртутные месторождения. Владивосток: Дальнаука, 1993. 228 с.
19. *Шило Н.А.* Витватерсранд и проблема рудообразования // Записки Горного института. 2008. Т. 176. С. 7—19.
20. *Шило Н.А., Захарова М.Е.* Природа пиритовых образований из отложений Витватерсранда // Геол. рудн. месторождений. 1986. № 2. С. 85—89.
21. *Шумская Н.И.* Условия образования пиритов месторождения Витватерсранд в Южной Африке и место золотого оруденения // Отечеств. геология. 1998. № 3. С. 64—67.
22. *Щеглов А.Д.* О кварце «Балейского типа» из золоторудных конгломератов Витватерсранда (ЮАР) // Докл. РАН. 1995. Т. 340. № 5. С. 521—524.
23. *Bainbridge K.T., Nier A.O.* Relative isotopic abundances of the elements // Prelim Report Nuclear Ser. Washington, 1950, No 9. 60 p.
24. *England G.L., Rasmussen B., Krapez B., Groves D.J.* Paleoenvironmental significance of rounded pyrite in siliciclastic sequences of the Late Archaean Witwatersrand Basin: oxygen — deficient atmosphere or hydrothermal alteration // Sedimentology, 2002. No 49. P. 1133—1156.
25. *Frimmel H.E., Minter W.E.L.* Recent developments concerning the geological history and genesis of the Witwatersrand gold deposits, South Africa // Soc. Econ. Geologists. Spec. Publ. 2002. Vol. 9. P. 17—45.
26. *Hallbauer D.K.* Witwatersrand Gold Deposits. Their genesis in the light of morphological studies // Gold Bulletin. 1978. Vol. 11. P. 18—23.
27. *Hallbauer D.K., Utter T.* Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand // Mineralium Deposita. 1977. Vol. 12. P. 293—306.
28. *Harris D.C., Cabri L.J.* Nomenclature of platinum-group-elementalloys: review and revision // Canad. Mineral. 1991, No 29. P. 231—237.
29. *Hutchinson R.W., Viljoen R.P.* Re-evaluation of gold source in Witwatersrand ores // S. Afr. Geol. 1988. No 91(2). P. 157—173.
30. *Liebenberg W.R.* The occurrence and origin of gold and radioactive minerals in the Witwatersrand System, the Dominion Reef, the Ventersdorp Contact Reef and the Black Reef // Trans Geol. Sjc. South. Afr. 1955. Vol. 58. P. 101—223.
31. *Macadam P.* The distribution of the gold and carbon in the Witwatersrand Bankets Reef // Ann., Trans. Geol. Soc. Africa. 1931. Vol. 34. P. 21—32.
32. *Minter W.E.L., Goedhart M., Knight J., Frimmel H.E.* Morphology of Witwatersrand gold grains from the Basal reef: Evidence for their detrital origin // Econ. Geol. 1993. Vol. 88, No 2. P. 237—248.
33. *Oberphur T., Saager R.* Silver and mercury in gold particles from proterozoic Witwatersrand placer deposits of South Africa: metallogenic and geochemical implications // Econ. Geol. 1986. Vol. 81, No 1. P. 20—31.
34. *Pretorius D.A.* The geology of Central Rand goldfield // The geology of some ore deposits in S. Africa. — Johannesburg: Geol. Society of S. Africa. 1964. Vol. 1. P. 63—108.
35. *Pretorius D.A.* The nature of the Witwatersrand gold-uranium deposits // Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits. Editor K.H. Wolf. Amsterdam-Oxford-New York: Sci. Publ. Co. 1976. Vol. 7, No 2. P. 29—88.
36. *Raal F.A.* A study of some gold mine diamonds // Amer. Mineralogist. 1969. Vol. 54, No 1—2. P. 292—295.
37. *Ramdohr P.* New observation the ores of the Witwatersrand in South Africa and their genetic significance // Geol. Soc. of S. Africa. 1958. No 71. P. 67—100.
38. *Reid A.M.* Composition of gold grains in the Vaal Placer, South Africa // Mineralium deposita. 1988. Vol. 23. P. 211—217.
39. *Robb L.J., Meyer F.M.* The Witwatersrand Basin, South Africa: Geologic framework and mineralization processes // Ore Geology Reviews. 1995. Vol. 10. P. 67—94.
40. *Saager R.* The relationship of silver and gold in Basal Reef of the Witwatersrand system, Africa // Mineral deposita. 1969. Vol. 4, No 2. P. 93—113.
41. *Schidlovski M.* The gold fraction of the Witwatersrand conglomerates from the Orange Free State goldfield (South Africa) // Mineralium Deposita. 1968. Vol. 3. P. 344—363.

REFERENCES

1. *Badanina I.Yu., Malich K.N., Merkle R.K.V., et al.* *Himicheskij i izotopnyj sostav Os-soderzhashchih splavov i sulfidov zolotorudnogo polya Evander Vitvatersrandskogo bassejna (Yuzhnaya Afrika)* [Chemical and isotopic composition of Os-containing alloys and sulfides of the Evander gold field of the Witwatersrand basin (South Africa)] // Litosfera. 2016. No 6. P. 129—144. (In Russ.).
2. *Bezgubov A.I., Byvshih Yu.I., Dement'ev P.K.* i dr. *Uran v drevnih konglomeratah* [Uranium in ancient conglomerates]. Moscow: Gosatomizdat, 1963. 188 p. (In Russ.).
3. *Dolgushin S.S., Dolgushin A.P.* *Genezis zoloto-uranovyh mestorozhdenij Vitvatersranda (YuAR) i problema iz analogov* [The genesis of the gold-uranium deposits of the Witwatersrand (South Africa) and the

- problem of analogues] // Petrologiya magmaticallycheskikh i metamorficheskikh kompleksov [Petrology of magmatic and metamorphic complexes]. Tomsk. 2017. P. 144—149. (In Russ.).
4. Konstantinov M.M. Zolotorudnye giganty Rossii i mira [Gold mining giants of Russia and the world]. Moscow: Nauchnyj mir, 2000. 270 p. (In Russ.).
 5. Konstantinov M.M. Zolotorudnye provincii mira [Gold mining giants of Russia and the world]. Moscow: Nauchnyj mir, 2006. 358 p. (In Russ.).
 6. Kosovets T.N. Notions of Witwatersrand gold-uranium deposits genesis in the light of sulfur, oxygen and carbon isotopic characteristics. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 20156 No 2. P. 22—33. (In Russ.) <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2015-2-22-33>
 7. Krendelev F.P. Metallonosnye konglomeraty mira [Metal-bearing conglomerates of the world]. Novosibirsk: Nauka, 1974. 237 p. (In Russ.).
 8. Kremeneckij A.A. Yuzhnaya Afrika: zoloto, almazy, platina [South Africa: gold, diamonds, platinum] // Geologiya — zhizn' moy... Sbornik ocherkov. Vyp. 6. [Geology — my life ... a collection of essays. Issue 6.] Moscow: ZAO "Geoinformmark", 2001. P. 297—361. (In Russ.).
 9. Marakushev A.A. Glazovskaya L.I., Paneyah N.A., Marakushev S.A. Problema proiskhozhdeniya uranovo-zolotorudnogo mestorozhdeniya Vitvatersrand [The problem of the origin of the Witwatersrand uranium-gold deposit.]. Vestn. Mosk. Un-ta. 2012. T. 4, no 3. P. 3—16. (In Russ.).
 10. Marfunin A.S. Istoriya zolota [The history of gold]. Moscow: Nauka, 1987. 246 p. (In Russ.).
 11. Moiseenko V.G., Stepanov V.A., Ejrish L.V., Mel'nikov A.V. Platinonosnost' Dal'nego Vostoka [Platinum-bearing Capacity of the Far East]. Vladivostok: Dal'nauka, 2004. 176 p. (In Russ.).
 12. Nel L.T. Problema genezisa uraninita v zolotonosnyh konglomeratah Yuzhnoj Afriki [The problem of the genesis of uraninite in the gold-bearing conglomerates of South Africa] // Tr. XXI Mezhdunarod. geol. kongr. [Proceedings of the XXI International. geol. congress]. Moscow: Mir, 1964. V. 3. P. 258—274. (In Russ.).
 13. Nikiforova Z.S. Zakonomernosti razmeshcheniya eolovogo zolota [Regularities of the placement of Aeolian gold] // Otechestv. geologiya. 1999. № 4. P. 24—26. (In Russ.).
 14. Okrugin V.M., Yablokova D.A. Sravnitel'nyj analiz sulfidnyh sferolitov zolotonosnyh konglomeratov Vitvatersranda (YuAR) i sovremennyh gidrotermal'nyh sistem Kamchatki [Comparative analysis of sulfide spherulites of gold-bearing conglomerates of the Witwatersrand (South Africa) and modern hydrothermal systems of Kamchatka] // Vestnik KRAUNC. 2013. No 2, Vol. 22. P. 196—204. (In Russ.).
 15. Portnov A.M. O vozmozhnom gipogenom proiskhozhdenii konglomeratov Vitvatersranda [On the possible hypogenic origin of the Witwatersrand conglomerates] // Dokl. AN. 1978. T. 239, № 3. P. 664—667. (In Russ.).
 16. Safonov Yu.G., Prokof'ev V.Yu. Model' konsedimentacionnogo gidrotermal'nogo obrazovaniya zolotonosnyh Rifov bassejna Vitvatersranda [Model of consedimentary hydrothermal formation of gold-bearing reefs of the Witwatersrand basin] // Geologiya rudnyh mestorozhdenij. 2006. T. 48, № 6. P. 475—511. (In Russ.).
 17. Stepanov V.A. Geologiya zolota, serebra i rtuti. Chast' 2. Zoloto i rtut' Priamurskoj provincii [Geology of gold, silver and mercury. Part 2. Gold and mercury of the Amur province]. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. 161 p. (In Russ.).
 18. Stepanov V.A., Moiseenko V.G. Geologiya zolota, serebra i rtuti. Chast' 1. Zoloto-rtutnye mestorozhdeniya [Geology of gold, silver and mercury. Part 1. Gold and mercury deposits]. Vladivostok: Dal'nauka, 1993. 228 p. (In Russ.).
 19. Shilo N.A. Vitvatersrand i problema rudoobrazovaniya [Witwatersrand and the problem of ore formation] // Zapiski Gornogo instituta. 2008. T. 176. P. 7—19. (In Russ.).
 20. Shilo N.A., Zaharova M.E. Priroda piritovyh obrazovaniy iz otlozhenij Vitvatersranda [The nature of pyrite formations from the Witwatersrand deposits] // Geol. rudn. m-nij. 1986. No 2. P. 85—89. (In Russ.).
 21. Shumskaya N.I. Usloviya obrazovaniya piritov mestorozhdeniya Vitvatersrand v Yuzhnoj Afrike i mesto zolotogo oruleniya [Conditions of formation of pyrites of the Witwatersrand deposit in South Africa and the place of gold mineralization] // Otechestv. geologiya. 1998. No 3. P. 64—67. (In Russ.).
 22. Shcheglov A.D. O kvarce «Balejskogo tipa» iz zolotorudnyh konglomeratov Vitvatersranda (YuAR) [About the "Baley type" quartz from the Witwatersrand gold conglomerates (South Africa)] // Dokl. RAN. 1995. T. 340. No 5. P. 521—524. (In Russ.).
 23. Bainbridge K.T., Nier A.O. Relative isotopic abundances of the elements // Prelim Report Nuclear Ser. Washington, 1950, № 9. 60 p.
 24. England G.L., Rasmussen B., Krapez B., Groves D.J. Paleoenvironmental significance of rounded pyrite in siliciclastic sequences of the Late Archaean Witwatersrand Basin: oxygen — deficient atmosphere or hydrothermal alteration // Sedimentology, 2002. No 49, P. 1133—1156.
 25. Frimmel H.E., Minter W.E.L. Recent developments concerning the geological history and genesis of the Witwatersrand gold deposits, South Africa // Soc. Econ. Geologists. Spec. Publ. 2002. Vol. 9. P. 17—45.
 26. Hallbauer D.K. Witwatersrand Gold Deposits. Their genesis in the light of morphological studies // Gold Bulletin. 1978. Vol. 11. P. 18—23.
 27. Hallbauer D.K., Utter T. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand // Mineralium Deposita. 1977. Vol. 12. P. 293—306.

28. Harris D.C., Cabri L.J. Nomenclature of platinum-group-elementalloys: review and revision // *Canad. Mineral.* 1991, 29, 231—237.
29. Hutchinson R.W., Viljoen R.P. Re-evaluation of gold source in Witwatersrand ores // *S. Afr. Geol.* 1988. No 91(2). P. 157—173.
30. Liebenberg W.R. The occurrence and origin of gold and radioactive minerals in the Witwatersrand System, the Dominion Reef, the Ventersdorp Contact Reef and the Black Reef // *Trans Geol. Sjc. South. Afr.* 1955. Vol. 58. P. 101—223.
31. Macadam P. The distribution of the gold and carbon in the Witwatersrand Bankets Reef // *Ann., Trans. Geol. Soc. Africa.* 1931. Vol. 34. P. 21—32.
32. Minter W.E.L., Goedhart M., Knight J., Frimmel H.E. Morphology of Witwatersrand gold grains from the Basal reef: Evidence for their detrital origin // *Econ. Geol.* 1993. Vol. 88, No 2. P. 237—248.
33. Oberphur T., Saager R. Silver and mercury in gold particles from proterozoic Witwatersrand placer deposits of South Africa: metallogenic and geochemical implications // *Econ. Geol.* 1986. Vol. 81, No 1. P. 20—31.
34. Pretorius D.A. The geology of Central Rand gold-field // *The geology of some ore deposits in S. Africa.* — Johannesburg: Geol. Society of S. Africa. 1964. Vol. 1. P. 63—108.
35. Pretorius D.A. The nature of the Witwatersrand gold-uranium deposits // *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits.* Editor K.H. Wolf. Amsterdam-Oxford-New York: Sci. Publ. Co. 1976. Vol. 7, No 2. P. 29—88.
36. Raal F.A. A study of some gold mine diamonds // *Amer. Mineralogist.* 1969. Vol. 54, no 1—2. P. 292—295.
37. Ramdohr P. New observation the ores of the Witwatersrand in South Africa and their genetic significance // *Geol. Soc. Of S. Africa.* 1958. No 71. P. 67—100.
38. Reid A.M. Composition of gold grains in the Vaal Placer, South Africa // *Mineralium deposita*, 1988. Vol. 23. P. 211—217.
39. Robb L.J., Meyer F.M. The Witwatersrand Basin, South Africa: Geologic framework and mineralization processes // *Ore Geology Reviews.* 1995. Vol. 10. P. 67—94.
40. Saager R. The relationship of silver and gold in Basal Reef of the Witwatersrand system, Africa // *Mineral deposita.* 1969. Vol. 4, No 2.
41. Schidlovski M. The gold fraction of the Witwatersrand conglomerates from the Orange Free State goldfield (South Africa) // *Mineralium Deposita.* 1968. Vol. 3. P. 344—363.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Степанов В.А. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vitaliy A. Stepanov — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Степанов Виталий Алексеевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр» Дальневосточного отделения Российской академии наук
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия
e-mail: vitstepanov@yandex.ru
тел.: +7 (985) 440-29-64
SPIN-код: 6764-5920
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>
Адрес для переписки: кв. 159, д. 20, пр. Боголюбова, Московская обл., г. Дубна 142986, Россия

Vitaliy A. Stepanov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Scientific Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
30, Northeast Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia
e-mail: vitstepanov@yandex.ru
tel.: +7 (985) 440-29-64
SPIN: 6764-5920
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>
The address for correspondence is sq. 159, 20, Bogolyubov ave., Moscow region, Dubna 142986, Russia



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-23-38>
УДК 550.8.05, 550.849, 550.4.01



МОДЕЛИРОВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Е.А. ЛАВРЕНОВА^{1,2}, Ю.В. ЩЕРБИНА^{1,*}, Р.А. МАМЕДОВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ООО «АСАП Сервис»
39, Красногвардейская ул., Геленджик 353460, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В акваториях Восточной Арктики прогнозируются три перспективных осадочных комплекса: апт-верхнемеловой, палеогеновый и неогеновый.

Поиск нефти и газа сопряжен с тяжелыми арктическими условиями на море, с высокими геологическими рисками в условиях слабой изученности региона, дорогостоящими геолого-разведочными работами. В связи с этим производится локализация объектов поискового бурения и оценка геологических рисков открытия месторождения.

Цель исследования. Оценка геологических рисков и определение вероятности открытия месторождений нефти и газа на акватории Восточной Арктики. Выделение перспективных участков для лицензирования и проведения геолого-разведочных работ.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов были использованы структурные карты, карта теплового потока, результаты геохимических анализов и типовые разрезы, изученные на суше. С использованием методики бассейнового анализа выполнено моделирование генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС) акватории Восточной Арктики. Проведена количественная оценка углеводородного потенциала ГАУС акватории Восточной Арктики. Оценка геологических рисков и вероятности открытия месторождения выполнена с использованием методики, широко применяемой нефтяными компаниями.

Результаты Моделирование ГАУС с применением вариативного подхода показало, что вне зависимости от типа керогена при средних величинах $C_{орг}$ в отложениях потенциальные нефтегазоматеринские толщи (НГМТ) способны к насыщению углеводородами (УВ) перспективных объектов. Фактор «Оценка НГМТ» — «обнадеживающий» (0,7). Активный геодинамический режим, проявление нескольких фаз складчатости в пределах изучаемой территории обеспечили благоприятные условия для формирования ловушек антиклинального типа в осадочных бассейнах. Однако качество покрывки не может быть оценено выше 0,5 («нейтральный»). Общий риск по фактору «Оценка ловушки» соответствует минимальному признаку — 0,5.

Заключение. Выделены наиболее перспективные участки для лицензирования и даны рекомендации по дальнейшим геологоразведочным работам (ГРР) на этих участках с целью уточнения их углеводородного потенциала и снижения геологических рисков.

Ключевые слова: Восточная Арктика, геологический риск, вероятность открытия, ресурсы, ловушки, углеводороды, геохронология, резервуары

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-70062.

Для цитирования: Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Моделирование углеводородных систем и количественная оценка углеводородного потенциала восточно-арктических морей. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):23—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-23-38>

Статья поступила в редакцию 25.02.2021
Принята к публикации 14.04.2021
Опубликована 31.05.2021

* Автор, ответственный за переписку

MODELING OF HYDROCARBON SYSTEMS AND QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE HYDROCARBON POTENTIAL OF EASTERN ARCTIC SEAS

ELENA A. LAVRENOVA^{1,2}, YULIA V. SHCHERBINA^{1,*}, RUSTAM A. MAMEDOV¹

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *ООО ASAP "Service"
39, Krasnogvardeiskaya str., Gelendzhik 353460, Russia*

ABSTRACT

Background. Three prospective sedimentary complexes — Aptian-Upper Cretaceous, Paleogene and Neogene — are predicted in the waters of the Eastern Arctic seas. Here, the search for oil and gas is associated with harsh Arctic conditions at sea, as well as with high geological risks and significant expenditures under the conditions of poor knowledge of the region. In this regard, the localisation of prospecting drilling objects and the assessment of the geological risks of deposit discovery should be carried out.

Aim. To assess geological risks and to determine the probability of discovering oil and gas fields, as well as to identify prospective areas for licensing and exploration in the water areas of the Eastern Arctic.

Materials and methods. Structural and heat flow maps along with the results of geochemical analysis, as well as typical terrestrial sections were used as initial materials. Using the method of basin analysis, the modelling of generation-accumulation hydrocarbon systems (GAHS) and the quantitative assessment of its hydrocarbon potential in the Eastern Arctic water area was carried out. The assessment of geological risks and the probability of field discovery was performed using the conventional methodology widely applied by oil companies.

Results. The GAHS modelling using a variation approach showed that, regardless of the kerogen type, with average values of C_{org} in sediments, potential oil-and-gas source strata (OGSS) were capable of saturating the prospective objects with hydrocarbons. The "OGSS assessment" factor was determined as "encouraging" (0.7). Active geodynamic regime and the manifestation of several folding phases within the study area provided favourable conditions for the formation of anticlinal traps in sedimentary basins. However, the cap rock quality rating was assessed as "neutral" (0.5). The overall risk for the "Trap assessment" factor was estimated based on the minimum criterion of 0.5.

Conclusion. The most prospective areas recommended for licensing were selected, and the recommendations for further geological exploration work in these areas were given in order to clarify their hydrocarbon potential and reduce geological risks.

Keywords: Eastern Arctic, geological risk, probability of discovery, resources, traps, hydrocarbons, geochronology, reservoirs

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: the reported study was funded by RFBR, project number 20-35-70062

For citation: Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Modeling of hydrocarbon systems and quantitative assessment of the hydrocarbon potential of Eastern Arctic seas. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(4):23—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-23-38>

Manuscript received 25 February 2021

Accepted 14 April 2021

Published 31 May 2021

* Corresponding author

Основываясь на полученных результатах моделирования и бассейнового анализа, выполненного на предыдущем этапе работ [3, 6, 7, 9, 11, 12, 14], для всех изученных осадочных комплексов были построены карты (ГАУС), графики основных геологических событий, выполнена оценка их углеводородного потенциала объемно-генетическим методом (рис. 1—8, табл. 1—9). В пределах области моделирования в апт-верхнемеловом осадочном комплексе выделяются пять гипотетических углеводородных систем (рис. 1):

- «Лаптевоморская аптская» ГАУС, расположенная полностью в акватории моря Лаптевых;
- «Новосибирская аптская» ГАУС, расположенная к северу от Новосибирских островов;
- «Восточно-Сибирская аптская» ГАУС, расположенная в центральной части Восточно-Сибирского моря;
- «Дремехедская аптская» ГАУС, расположенная в акватории Восточно-Сибирского моря к западу от о. Врангеля;
- «Северо-Чукотская аптская» ГАУС, расположенная в российской части Чукотского моря.

Все выделенные ГАУС занимают значительные площади — более ста тысяч квадратных километров (за исключением Дремехедской) и включают крупные очаги генерации углеводородов, обеспечивающие значительный начальный углеводородный потенциал: от ~400 миллиардов до почти триллиона т УТ в общей сложности в зависимости от качества нефтегазоматеринских пород (табл. 1, 2). Наиболее высоким начальным потенциалом характеризуются Северо-Чукотская и Лаптевоморская углеводородные системы.

Как отмечено в предыдущих работах по данной тематике [5, 6, 10, 12, 14, 15], НГМТ, резервуары и флюидоупоры всех ГАУС прогнозируются в нижней части апт-верхнемелового комплекса (рис. 2). НГМТ всех систем характеризуются высокой зрелостью и перегреты в центральных областях очагов генерации. Процессы генерации, миграции и аккумуляции углеводородов начались уже позднем меле и продолжают до настоящего времени в существенно редуцированном виде, т.к. критический момент большинство ГАУС преодолели в период около

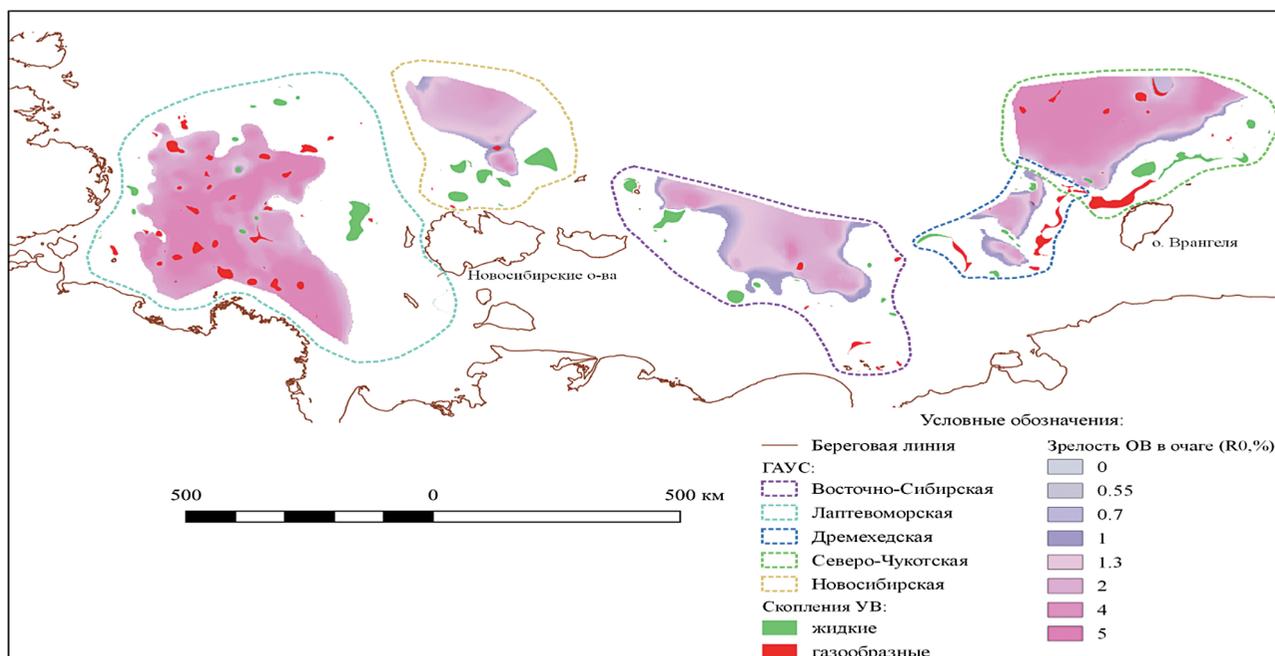


Рис. 1. Карты ГАУС апт-верхнемелового комплекса

Fig. 1. Maps of the petroleum systems Apt-Upper Cretaceous complex

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

40÷60 млн лет назад — в палеоцене-эоцене (рис. 2а-г). Исключение составляет Северо-Чукотская ГАУС, которая преодолела критический момент уже во второй половине мела (85 млн лет назад), что обусловлено быстрым погружением и чрезвычайно высокими скоростями осадконакопления (рис. 2д).

В соответствии с современными представлениями о геологическом развитии региона (А.М. Никишин, К.Ф. Старцева, В.Е. Вержбицкий и др., 2019) здесь выделяются два основных периода складчатости: 66÷45 и 34÷20 млн лет. С этими периодами мы связываем основные этапы формирования ловушек и переформирования ранее образованных скоплений углеводородов.

В этом смысле исключения составляют Лаптевоморская и Новосибирская ГАУС, в которых тектоническая активность, связанная с рифтогенезом, начавшаяся во второй половине мела, продолжается практически непрерывно до настоящего времени (рис. 2а, б).

Анализ графиков основных геологических событий ГАУС апт-верхнемелового комплекса показывает, что все они характеризуются неблагоприятным соотношением времени формирования ловушек и критического момента ГАУС.

Системы преодолели критический момент задолго до завершения тектонической активности в регионе. Это могло привести, с одной стороны, к рискам заполнения ловушек, образованных на более поздних стадиях тектонической активизации, с другой — к разрушению ранее сформированных скоплений УВ. Поскольку интенсивность проявления складчатости и ее латеральный и временной экстенд варьировали в пределах изучаемой площади, указанные риски также распределены неравномерно и должны уточняться в рамках детализированных работ. Для этого прежде всего необходимы детальные структурные построения и палеотектонические реконструкции с выходом на численное моделирование, опирающиеся на более плотную, чем региональная, сеть сейсмических профилей.

Прогнозируемый фазовый состав скоплений УВ определяется начальными характеристиками типа керогена нефтегазоматеринских пород и особенностями эволюции углеводородных систем: интенсивностью процессов вторичного крекинга, переформированием залежей.

Для всех изученных ГАУС апт-верхнемелового осадочного комплекса основным фактором является тип керогена, за исключением Лаптевоморской.

Таблица 1. Количественная оценка углеводородного потенциала ГАУС апт-верхнемелового комплекса
Table 1. Quantitative assessment of the hydrocarbon potential petroleum system of the apt-Upper Cretaceous complex

ГАУС	Генерационный баланс, млн т УТ		Эмиграционный баланс, млн т УТ		Аккумулировано в резервуаре, млн т УТ		Коэффициент аккумуляции	
	II тип	III тип	II тип	III тип	II тип	III тип	II тип	III тип
Лаптевоморская	251 295	107 161	239 819	107 054	3539	2733	1,48	1,14
Новосибирская	65 601	24 876	59 595	24 829	1181	376	1,98	0,63
Восточно-Сибирская	157 629	58 024	139 425	57 840	6582	2544	4,72	1,82
Дремехедская	43 513	14 932	36 632	14 858	1567	805	4,28	2,20
Северо-Чукотская	351 832	153 100	336 914	152 864	6450	2446	1,91	0,73
Итого:	869 870	358 092	812 385	357 446	19 318	8904	2,38	1,10

Таблица 2. Удельные плотности ресурсов ГАУС апт-верхнемелового комплекса
Table 2. Specific density resources petroleum system of the apt-Upper Cretaceous complex

ГАУС	Площадь, кв. км	Аккумулировано в резервуаре (среднее), млн т УТ	Плотность ресурсов тыс. т УТ/кв. км
Лаптевоморская	383 859	3136	8,17
Новосибирская	113 913	778	6,83
Восточно-Сибирская	176 360	4563	25,87
Дремехедская	59 201	1186	20,03
Северо-Чукотская	161 467	4448	27,55



Рис. 2. График геологических событий: а — Лаптевоморской аптской ГАУС, б — Новосибирской аптской ГАУС, в — Восточно-Сибирской аптской ГАУС, г — Дремхедской аптской ГАУС, д — Северо-Чукотской аптской ГАУС
Fig. 2. Graph of geological events: а — Laptevomorskaya Aptsкая petroleum system, б — Novosibirsk Aptsкая petroleum system, в — East Siberian Aptsкая petroleum system, г — Dremkhedskaya Aptsкая petroleum system, д — North Chukchi Aptsкая petroleum system

Интенсивный вторичный крекинг, обусловленный высоким тепловым потоком и быстрым погружением бассейна в палеогене, обусловил преобладание газообразной составляющей в составе

прогнозируемых скоплений вне зависимости от типа органического вещества (табл. 3).

Средний коэффициент аккумуляции УВ систем апт-верхнемелового комплекса в зависимости

Таблица 3. Фазовый состав прогнозируемых скоплений УВ углеводородных систем апт-верхнемелового комплекса
Table 3. Phase composition of predicted hydrocarbon accumulations petroleum systems of the Apt-Upper Cretaceous complex

ГАУС	Фазовый состав прогнозируемых скоплений: газ/нефть, %	
	II тип (исходное 17/83)	III тип (исходное 68/31)
	по массе	по массе
Лаптевоморская	56/44	76/23
Новосибирская	16/83	71/29
Восточно-Сибирская	19/81	45/54
Дремхедская	24/76	52/48
Северо-Чукотская	23/77	60/40

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

от типа керогена составляет 1—2%. Максимальными коэффициентами характеризуются Восточно-Сибирская и Дремехедская ГАУС (табл. 1). Тип органического вещества определяет также и общие начальные прогнозные геологические ресурсы систем. При условии преобладания второго типа керогена максимальные объемы (около 6.5 млрд т УТ) прогнозируются в пределах Восточно-Сибирской и Северо-Чукотской ГАУС. В случае третьего типа наиболее высокие значения ожидаются в Лаптевоморской (2,7 млрд т УТ), Восточно-Сибирской и Северо-Чукотской (по 2,5 млрд т УТ) углеводородных системах (табл. 1).

В соответствии с полученными оценками удельных плотностей начальных прогнозных ресурсов территории изученных ГАУС относятся к категории перспективных земель III (Северо-Чукотская, Восточно-Сибирская, Дремехедская) и IV (Новосибирская и Лаптевоморская) типов.

В палеогеновом (палеоцен-эоцен) осадочном комплексе выделены три ГАУС (рис. 3):

- «Лаптевоморская палеоцен-эоценовая», расположенная целиком в пределах моря Лаптевых;
- «Восточно-Сибирская палеоцен-эоценовая», расположенная в центральной части Восточно-Сибирского моря;

- «Северо-Чукотская палеоцен-эоценовая», расположенная к северу от о. Врангеля.

Среди выделенных ГАУС Лаптевоморская — самая большая по площади, ее большую часть занимает крупный очаг генерации УВ (табл. 4, 5).

Суммарный начальный генерационный потенциал углеводородных систем палеогеновой части осадочного чехла может составлять от 350 млрд до 1 трлн т УТ в зависимости от типа керогена (табл. 4, 5). Подавляющая часть этого потенциала приходится на Лаптевоморскую ГАУС.

Основные элементы углеводородных систем (НГМТ, резервуары, флюидоупоры) прогнозируются в основании палеогена (рис. 4).

Зрелость ОВ в очагах Восточно-Сибирской и Северо-Чукотской углеводородных систем соответствует уровню нефтяного окна и поздней генерации нефти. На большей площади очага генерации Лаптевоморской ГАУС органическое вещество существенно более зрелое — способно генерировать газообразные УВ или перегрето.

Все три системы в значительной степени реализовали свой потенциал и преодолели критический момент в период от 28 до 15 млн лет назад (рис. 8—10). Раньше всех этот этап достигнут Лаптевоморской ГАУС, позже всех — Северо-Чукотской, что обусловлено особенностями теплового режима

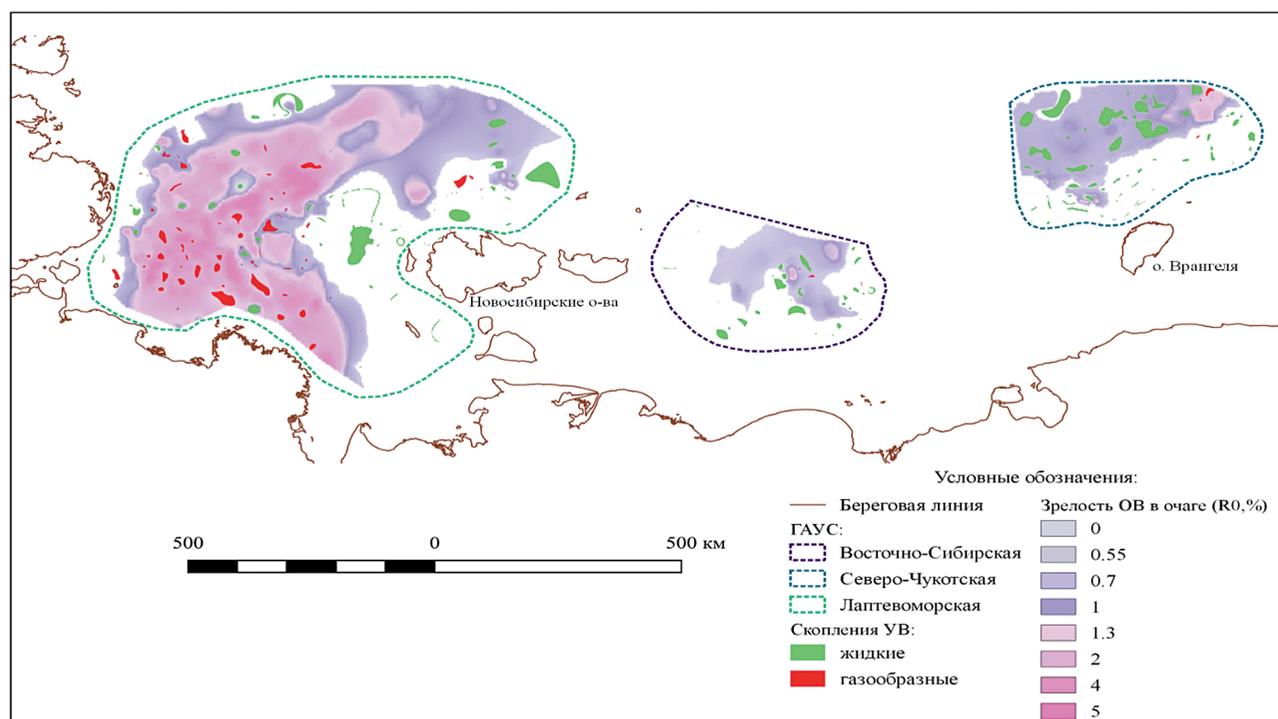


Рис. 3. Карты ГАУС палеогенового (палеоцен-эоцен) комплекса

Fig. 3. Maps of the petroleum systems Paleogene (Paleocene-Eocene) complex

Таблица 4. Количественная оценка углеводородного потенциала ГАУС палеогенового (палеоцен-эоцен) комплекса
Table 4. Quantitative assessment of the hydrocarbon potential petroleum systems of the Paleogene (Paleocene-Eocene) complex

ГАУС	Генерационный баланс, млн т УТ		Эмиграционный баланс, млн т УТ		Аккумулировано в резервуаре, млн т УТ		Коэффициент аккумуляции	
	II тип	III тип	II тип	III тип	II тип	III тип	II тип	III тип
Лаптевоморская	893 277	335 857	795 793	334 811	23 377	11 513	2,94	1,45
Восточно-Сибирская	42 517	7579	17 727	7170	7021	1906	39,61	10,75
Северо-Чукотская	80 119	19 015	52 661	18 720	18 285	4377	34,72	8,31
Итого:	1 015 913	362 451	866 180	360 701	48 682	17 796	5,62	2,05

Таблица 5. Удельные плотности ресурсов ГАУС палеогенового (палеоцен-эоцен) комплекса
Table 5. Specific densities resources petroleum systems of the Paleogene (Paleocene-Eocene) complex

ГАУС	Площадь, кв. км	Аккумулировано в резервуаре (среднее), млн т УТ	Плотность ресурсов тыс. т УТ/кв. км
Лаптевоморская	509 090	17 445	34,27
Восточно-Сибирская	129 757,27	4464	34,40
Северо-Чукотская	145 803,08	11 331	77,71

и скоростями погружения осадочных бассейнов. Продолжающийся в палеогене рифтогенез и высокие скорости осадконакопления отличают Лаптевоморский бассейн от остальных в этот период геологического развития.

Соотношение времени формирования ловушек и критического момента крайне благоприятно для Северо-Чукотской и Восточно-Сибирской ГАУС, т.к. тектоническая активность завершилась до достижения этими системами критического момента.

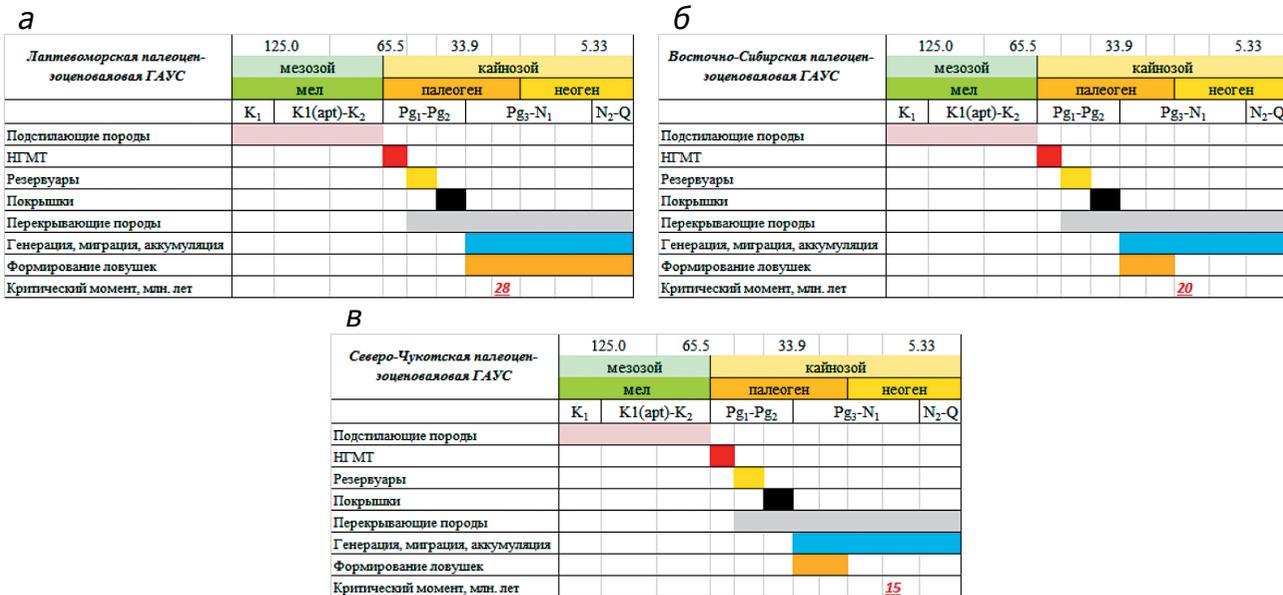


Рис. 4. График геологических событий: а — Лаптевоморской палеоцен-эоценовой ГАУС, б — Восточно-Сибирской палеоцен-эоценовой ГАУС, в — Северо-Чукотской палеоцен-эоценовой ГАУС

Fig. 4. Graph of geological events: а — Laptevomorsk Paleocene-Eocene petroleum system, б — East Siberian Paleocene-Eocene petroleum system, в — North Chukchi Paleocene-Eocene petroleum system

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Соответственно, сформированные ловушки могут быть полностью заполненными и риск перестроения и разрушения залежей отсутствует. Для Лаптевоморской ГАУС такие риски прогнозируются с учетом установленного соотношения критического момента и тектонической активности в пределах области распространения системы.

Отмеченные закономерности согласуются с полученными оценками коэффициентов аккумуляции. Так, для Лаптевоморской углеводородной системы коэффициент аккумуляции почти на порядок ниже по сравнению с Восточно-Сибирской и Северо-Чукотской (табл. 4), что, возможно, обусловлено значительным вторичным крекингом и разрушением ранее сформированных залежей.

Однако, несмотря на эти неблагоприятные факторы, в ловушках Лаптевоморской ГАУС прогнозируются максимальные начальные геологические ресурсы углеводородов — около 17 млрд т УТ. Второй по величине ресурсного потенциала является Северо-Чукотская углеводородная система — 11,3 млрд т УТ. Ресурсный потенциал Восточно-Сибирской ГАУС составляет около 4,5 млрд т УТ.

Ожидаемый фазовый состав прогнозируемых скоплений УВ в отложениях палеоцена-эоцена приведен в таблице 6. Критическим фактором, определяющим соотношение фаз, является тип керогена. Присутствие в нефтегазоматеринских породах ОВ морского типа определяет преобладание жидких УВ.

Значительное количество газообразных УВ ожидается в скоплениях Лаптевоморской ГАУС: от 31 до 67% в зависимости от качества органического вещества.

При условии наличия второго типа керогена в НГМТ Восточно-Сибирской и Северо-Чукотской ГАУС прогнозируемые скопления будут содержать преимущественно жидкие углеводороды.

В соответствии с полученными оценками удельных плотностей начальных прогнозных ресурсов территории Восточно-Сибирской и Лаптевоморской ГАУС относятся категории перспективных земель IV категории, Северо-Чукотской — III категории.

В олигоцен-миоценовой части осадочного чехла в пределах области моделирования выделена одна генерационно-аккумуляционная система, расположенная в акватории моря Лаптевых (рис. 5). Для целей моделирования нефтегазоматеринские толщи, резервуары и флюидоупоры определены в основании осадочного комплекса (рис. 6). Площадь системы составляет около 350 тыс. кв. км. Очаг генерации занимает третью часть этой территории. Зрелость органического вещества в очаге варьирует от незрелого до уровня, соответствующего «нефтяному окну». Критический момент преодолен системой около 3 млн лет назад, что является благоприятным фактором для формирования и сохранности прогнозируемых скоплений УВ.

ГАУС характеризуется высокими расчетными коэффициентами аккумуляции (табл. 7), по сравнению с углеводородными системами более древних комплексов, рассмотренными выше. Большинство прогнозируемых скоплений расположено к юго-востоку от очага генерации. Ожидаемые прогнозные начальные геологические ресурсы ГАУС могут составить приблизительно от 10 до 33 млрд т УТ в зависимости от типа керогена.

Фазовый состав прогнозируемых скоплений углеводородов определяется качеством органического вещества, а также уровнем его зрелости. Совокупность этих факторов обеспечивает высокую вероятность обнаружения преимущественно жидких УВ в ловушках неогенового комплекса (табл. 9).

Региональный характер сейсмических работ и, как следствие, структурных построений

Таблица 6. Фазовый состав прогнозируемых скоплений УВ углеводородных систем палеогенового (палеоцен-эоцен) комплекса

Table 6. Phase composition of predicted hydrocarbon accumulations of petroleum systems of the Paleogene (Paleocene-Eocene) complex

ГАУС	Фазовый состав прогнозируемых скоплений газ/нефть, %	
	II тип (исходное 17/83) по массе	III тип (исходное 68/31) по массе
Лаптевоморская	31/69	67/33
Восточно-Сибирская	6/94	51/48
Северо-Чукотская	5/95	63/37

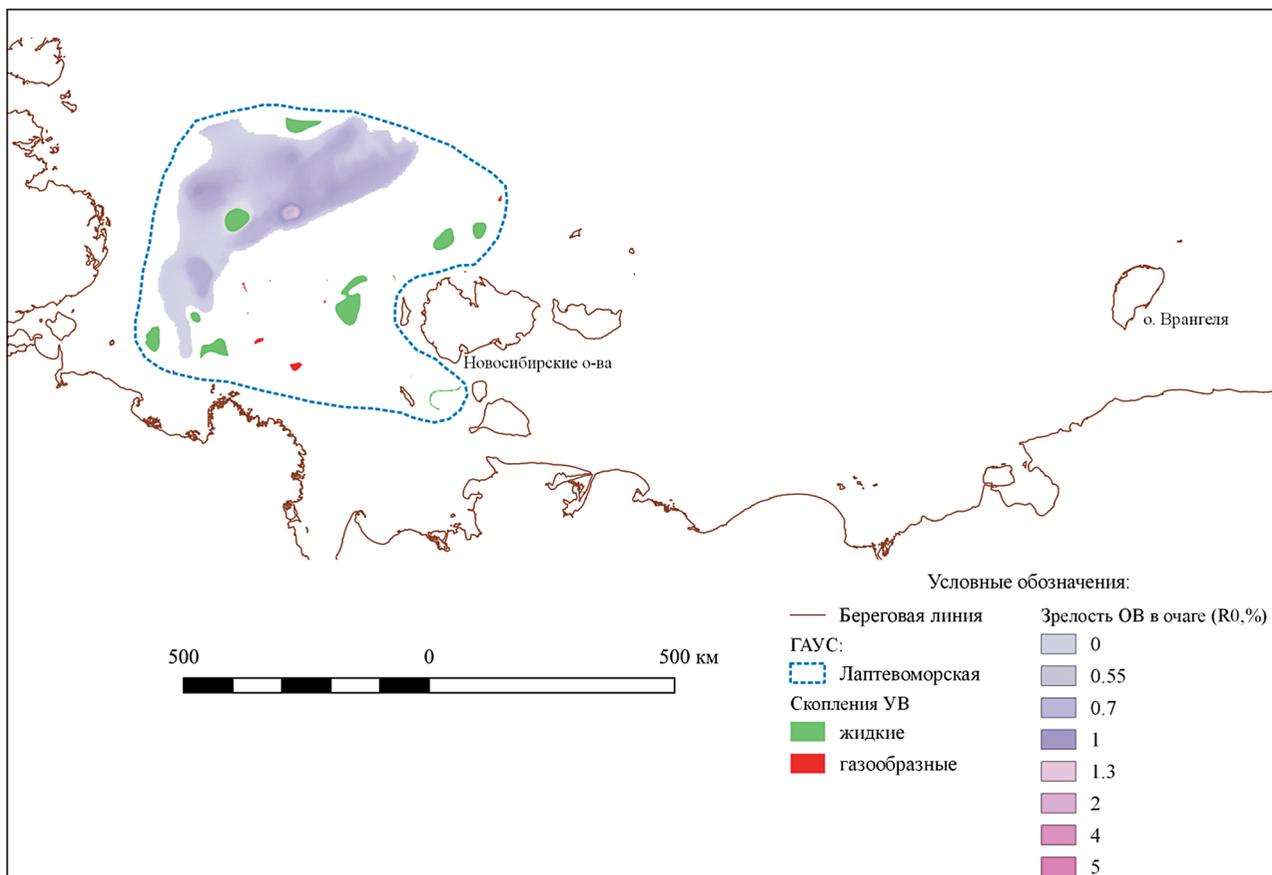


Рис. 5. Карты ГАУС неогенового (олигоцен-миоцен) комплекса
 Fig. 5. Maps of the petroleum system Neogene (Oligocene-Miocene) complex

не позволил в рамках региональной модели оценить углеводородный потенциал клиноформных отложений кайнозойского комплекса, широко распространенных в северо-восточной части Восточно-Сибирского моря и сопредельной территории Северо-Чукотского прогиба.

Оценка геологических рисков

Оценка геологических рисков и вероятности открытия месторождения выполнена с использованием методики, широко применяемой нефтяными компаниями [14]. Методика предусматривает комплексный анализ геологической информации о нефтегазоматеринских породах, резервуарах, покрышках и включает четыре основных фактора:

- наличие и свойства нефтематеринских толщ, включая их мощность, количество и выдержанность слоев, распространение, сведения о газо- и нефтепроявлениях, типе керогена, насыщенности и зрелости ОВ;

- наличие и свойства резервуара, его литология, распространение, история развития, латеральная выдержанность, мощность и вертикальная цикличность, гетерогенность, коэффициенты пористости и проницаемости, трещиноватость, диагенетические характеристики;

- наличие ловушки, включая достоверность ее обнаружения по геофизическим данным, тип ловушки, тип и качество покрышки;

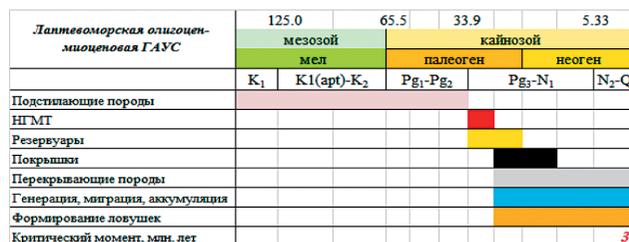


Рис. 6. График геологических событий Лаптевоморской олигоцен-миоценовой ГАУС
 Fig. 6. Graph of geological events Laptevomorsk Oligocene-Miocene petroleum system

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Таблица 7. Количественная оценка углеводородного потенциала ГАУС неогенового (олигоцен-миоцен) комплекса
Table 7. Quantitative assessment hydrocarbon potential of petroleum systems Neogene (Oligocene-Miocene) complex

ГАУС	Генерационный баланс, млн т УТ		Эмиграционный баланс, млн т УТ		Аккумулировано в резервуаре, млн т УТ		Коэффициент аккумуляции	
	II тип	III тип	II тип	III тип	II тип	III тип	II тип	III тип
Лаптевоморская	121 168	17 013	45 568	15 269	33 203	10 668	72,86	23,41

Таблица 8. Удельные плотности ресурсов ГАУС неогенового (олигоцен-миоцен) комплекса
Table 8. Specific density resources petroleum system of the Neogene (Oligocene-Miocene) complex

ГАУС	Площадь, кв. км	Аккумулировано в резервуаре (среднее), млн. т УТ	Плотность ресурсов тыс. т УТ/кв. км
Лаптевоморская	351 307	21 935	62,44

Таблица 9. Фазовый состав прогнозируемых скоплений УВ углеводородных систем неогенового (олигоцен-миоцен) комплекса
Table 9. Phase composition of the predicted hydrocarbon accumulations petroleum systems of the Neogene (Oligocene-Miocene) complex

ГАУС	Фазовый состав прогнозируемых скоплений: газ/нефть, %	
	II тип (исходное 17/83) по массе	III тип (исходное 68/31) по массе
Лаптевоморская	14/86	54/46

• соотношение времени формирования ловушек и процесса генерации, миграции аккумуляции УВ, включая сохранность залежи.

Термин «геологический риск» определяет вероятность открытия промышленных скоплений УВ (вероятность геологического успеха) и оценивается как произведение вероятностей четырех независимых факторов:

- 1) вероятность наличия зрелой нефтематеринской породы (P_{source});
- 2) вероятность наличия резервуара ($P_{reservoir}$);
- 3) вероятность наличия ловушки (P_{trap});
- 4) вероятность благоприятного фактора времени (геохронология) ($P_{dynamics}$).

$P_g = P_{source} \times P_{reservoir} \times P_{trap} \times P_{dynamics}$
где P_g — вероятность геологического успеха.

Вероятность обнаружения промышленных потоков УВ оценивается по шкале от 0,01 до 0,99. Анализ рисков выполняется при первоначальном анализе доступной геологической информации и пересматривается при получении новых данных.

Для стандартизации метода оценки геологических рисков анализ геологической информации проводится с использованием так называемого «контрольного листа» (табл. 10), который включает блоки, соответствующие четырем факторам риска.

В результате составляется таблица рисков, строки которой содержат оценку каждого из факторов риска как «неблагоприятного» (0,1÷0,3) «спорного» (0,3÷0,4), «нейтрального» (0,5), «обнадеживающего» (0,5÷0,7) или «благоприятного» (0,7÷0,9).

Вычисление вероятности геологического успеха выполняется с точностью до третьего знака после запятой. На основании эмпирических данных геологические риски разделены на категории:

- 1) очень низкий риск (0,5÷0,99) — все факторы объекта оцениваются как «благоприятные»;
- 2) низкий риск (0,25÷0,5) — все факторы оцениваются как «обнадеживающие» и «благоприятные»;
- 3) умеренный риск (0,125÷0,25) — два или три фактора — от «обнадеживающих» до «благоприятных»; один или два — от «обнадеживающих» до «нейтральных»;
- 4) высокий риск (0,063÷0,125) — один или два фактора — «обнадеживающие»; два или три «нейтральные» или от «нейтральных» до «обнадеживающих»;
- 5) очень высокий риск (0,01÷0,063) от двух до трех факторов не выше «нейтральных» — при одном или двух — «сомнительном» или «нейтральном».

Таблица 10. Результаты оценки вероятности геологического успеха изученных ГАУС восточно-арктических акваторий

Table 10. The results of estimating the probability of geological success of the studied petroleum system of Eastern Arctic water areas

Фактор риска	Неблагоприятный	Спорный	Нейтральный	Обнадеживающий	Благоприятный	Оценка риска
I. Оценка НГМТ						0,7
Способность насыщения УВ					0,7	
Зрелость					0,8	
II. Оценка резервуара						0,6
Наличие					0,8	
Качество				0,6		
III. Оценка ловушки						0,5
Достоверность определения ловушки					0,8	
Качество покрышки			0,5			
IV. Геохронология						0,9
Генерация					0,9	
Миграция					0,9	
Аккумуляция					0,9	
Вероятность геологического успеха						0,187

Как отмечалось ранее, в отсутствие признаков нефтегазоносности осадочного чехла в пределах акваториальной части Восточной Арктики все рассматриваемые углеводородные системы относятся к разряду гипотетических.

Существенные неопределенности в части вещественного состава отложений, обусловленные отсутствием скважин в пределах изучаемой территории, не позволили закартировать и надежно охарактеризовать необходимые элементы углеводородных систем. Вместе с тем анализ палеогеографических условий формирования отложений позволяет предполагать их присутствие в составе всех основных комплексов осадочного чехла.

С учетом изложенного признак наличия в разрезе резервуаров всех трех изученных комплексов оценен как «обнадеживающий» со значением вероятности 0,6.

Несмотря на отсутствие информации о качестве и количестве органического вещества в составе осадочного чехла, результаты выполненного моделирования с применением вариативного подхода показали, что вне зависимости от типа керогена, при средних величинах $C_{орг.}$ в отложениях, потенциальные НГМТ способны к насыщению УВ перспективных объектов. Поэтому фактор «Оценка НГМТ» описан как «обнадеживающий» (0,7).

Активный геодинамический режим, проявление нескольких фаз складчатости в пределах

изучаемой территории обеспечили благоприятные условия для формирования ловушек антиклинального типа в осадочных бассейнах, которые хорошо фиксируются даже на структурных картах в региональном масштабе. Однако в отсутствие информации о вещественном составе отложений оценка качества покрышки не может быть оценена выше 0,5 («нейтральный»). Соответственно, общий риск по фактору «Оценка ловушки» соответствует минимальному признаку — 0,5.

Учитывая полученные результаты моделирования, изученные ГАУС существенно различаются в части оценки фактора «Геохронология». Неблагоприятное соотношение времени критического момента и формирования ловушек для аптских ГАУС обусловило высокие риски в части сохранности залежей, поэтому фактор «Геохронология» оценен как «неблагоприятный» со значением 0,3 для всех углеводородных систем апт-верхнемелового комплекса. Для ГАУС кайнозойской части разреза в зависимости от соотношения времени критического момента и установленных фаз складчатости в осадочных бассейнах фактор «Геохронология» оценен как «благоприятный» со значениями 0,6÷0,7 (рис. 7).

Таким образом, вероятность геологического успеха для меловых отложений сопряжена с высокими рисками ($P_g = 0,063$). Вероятность открытия месторождений в кайнозойской

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES



Рис. 7. Геологические риски: а — Лаптевоморской аптской ГАУС, б — Новосибирской аптской ГАУС, в — Восточно-Сибирской аптской ГАУС, г — Дремхедской аптской ГАУС, д — Северо-Чукотской аптской ГАУС, е — Лаптевоморской палеоцено-эоценовой ГАУС, ж — Восточно-Сибирской палеоцено-эоценовой ГАУС, з — Северо-Чукотской палеоцено-эоценовой ГАУС, и — Лаптевоморской олигоцен-миоценовой ГАУС

Fig. 7. Geological risks: а — part on the Laptev sea Aptian petroleum system, б — Novosibirsk Aptian petroleum system, в — East Siberian Aptian petroleum system, г — Drmedsci Aptian petroleum system, д — Severodonetsky Aptian petroleum system, е — part on the Laptev sea the Paleocene-Eocene petroleum system, ж — of the East Siberian paleocean-Eocene petroleum system, з — North Chukchi Paleocene-Eocene of petroleum system, и — Laptevomorsk Oligocene-Miocene GAUS petroleum system

части разреза — выше (от 0,126 до 0,147), что соответствует умеренному риску.

Схемы нефтегеологического районирования региона работ и оценка потенциала наиболее перспективных зон нефтегазонакопления и поисковых объектов

В соответствии с нефтегазогеологическим районированием, выполненным ФГБУ «ВНИГНИ»

в 2012 г., территория исследования располагается в пределах двух потенциально нефтегазоносных провинций — Восточно-Арктической и Новосибирско-Чукотской и включает Лаптевоморскую самостоятельную нефтегазоносную область (рис. 8).

В соответствии с районированием 2012 г. большая часть изучаемой территории характеризуется невысокими перспективами и относится к землям низшей категории. Перспективы севера моря

Лаптевых и крайнего северо-запада Восточно-Сибирского моря оценены на качественном уровне. Только Северо-Чукотский бассейн, соответствующий Северо-Чукотской ПНГО, отнесен к землям IV категории.

Проведенные в рамках настоящего проекта бассейновый анализ и моделирование основаны на всей наиболее современной и доступной геолого-геофизической информации. Это позволило существенно уточнить оценку углеводородного потенциала акваторий Восточной Арктики и выполнить нефтегазогеологическое районирование на качественно новом уровне.

В частности, уточнены границы потенциально нефтегазоносных провинций и областей в соответствии с установленными границами осадочных бассейнов и генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (рис. 9). С учетом выполненной по результатам моделирования оценки углеводородного потенциала увеличена категория перспективности земель на большей части рассматриваемой территории. Центральные области Северо-Чукотского, Восточно-Сибирского и Лаптевоморского бассейнов отнесены к землям третьей категории, их прибрежные части — к четвертой. Площадь земель низшей категории существенно сократилась (рис. 9).

Лаптевоморская самостоятельная нефтегазоносная область включает единственный одноименный бассейн. В пределах описываемой СНГО прогнозируются три этажа нефтегазоносности: апт-верхнемеловой, палеоцен-эоценовый

и олигоцен-миоценовый, удельные плотности ресурсов которых составляют 8,17, 34,27 и 62,44 тыс. т УТ/кв. км соответственно. Территория Лаптевоморской СНГО относится к землям III и IV категорий. В составе скоплений прогнозируется значительная доля газообразных углеводородов.

Восточно-Арктическая ПНГП включает ПНГО Де-Лонга и Северо-Чукотскую.

Восточно-Сибирский осадочный бассейн принадлежит ПНГО Де-Лонга. В пределах изученной части ПНГО прогнозируются два этажа нефтегазоносности: апт-верхнемеловой и палеоцен-эоценовый. Удельные плотности ресурсов мелового и палеогенового комплексов могут составить 25,87 и 34,4 тыс. т УТ/кв. км соответственно. Территория Восточно-Сибирского бассейна относится к перспективным землям III и IV категорий. Прогноз фазового состава скоплений связан со значительными неопределенностями и будет контролироваться типом керогена в нефтегазоматеринских толщах.

Северо-Чукотская ПНГО включает два осадочных бассейна: Дремехедскую впадину и Северо-Чукотский прогиб.

В Дремехедской впадине скопления УВ прогнозируются только в апт-верхнемеловой части разреза с удельными плотностями ресурсов 20,03 тыс. т УТ/кв. км, что соответствует землям IV категории.

Область в пределах Северо-Чукотского прогиба практически полностью отнесена к перспективным землям III категории. Значительный ресурсный

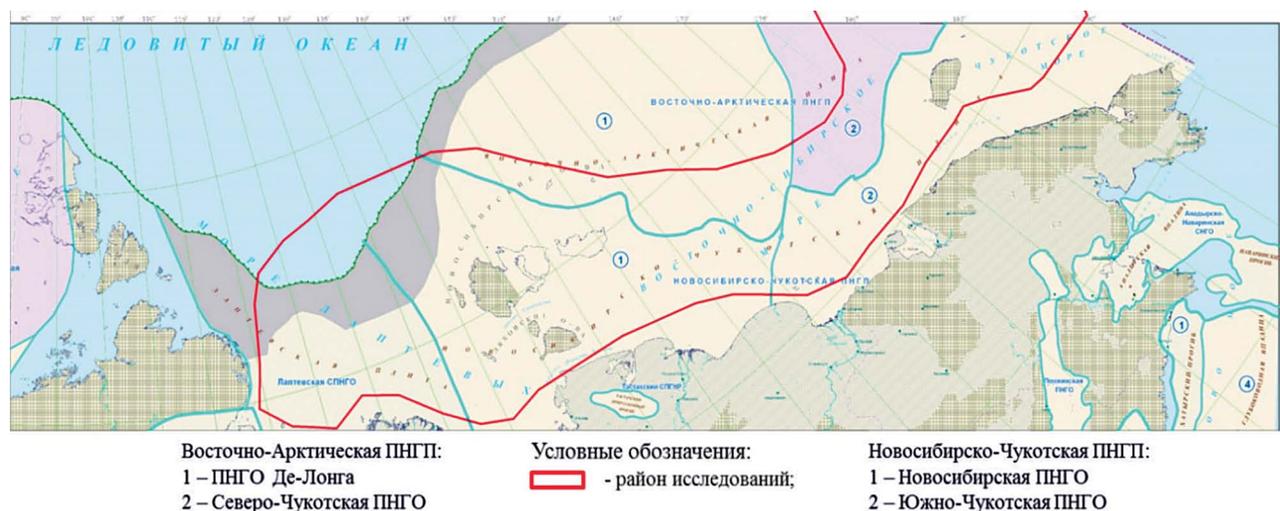


Рис. 8. Фрагмент карты нефтегазогеологического районирования Восточной Арктики (карта нефтегазогеологического районирования Российской Федерации и сопредельных стран СНГ [1])

Fig. 8. Fragment of the map of the oil and gas geological zoning of the Eastern Arctic (map of the oil and gas geological zoning of the Russian Federation and neighboring CIS countries [1])

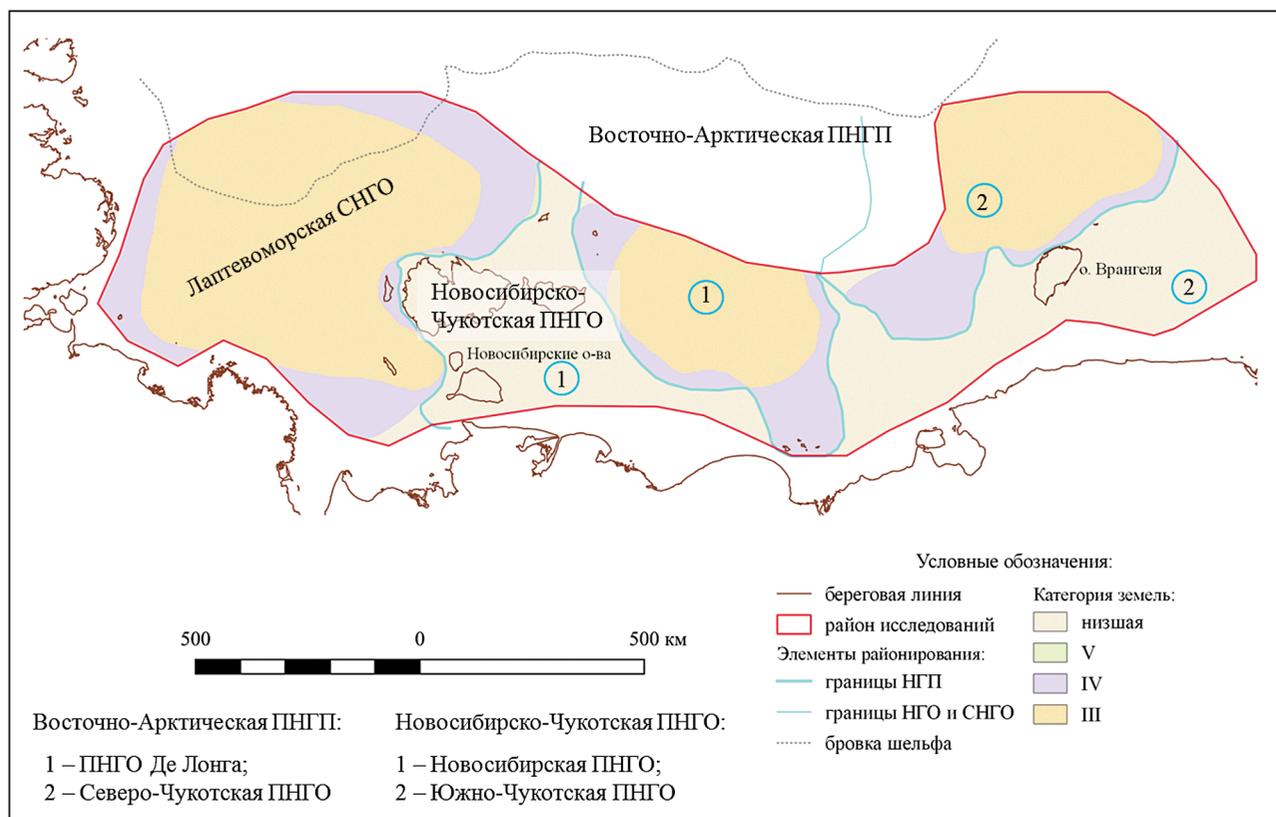


Рис. 9. Нефтегазогеологическое районирование восточно-арктических акваторий по результатам моделирования

Fig. 9. Oil and gas geological zoning of the Eastern Arctic water areas based on the results of modeling

потенциал ожидается в меловой и особенно в палеогеновых частях разреза, удельные плотности ресурсов которых, по нашей оценке, могут составить 27,55 и 77,71 тыс. т УТ/кв. км соответственно. Фазовый состав залежей будет зависеть

от типа органического вещества потенциальных НГМТ.

С учетом изложенного в пределах изучаемой территории наиболее перспективными являются Лаптеворская СНГО и Северо-Чукотская ПНГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас геологических карт России, стран СНГ и сопредельных государств м-ба 1:2 500 000. Прогнозно-минералогическая карта на углеводородное сырье. СПб., 2008.
2. Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н. Дегазация земли: масштабы и последствия // Горный журнал, 2018 №11 с. 38—42
3. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла Восточно-Арктических акваторий. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;1(1):19—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>
4. Керимов В.Ю., Щербина Ю.В., Иванов А.А. Условия формирования и эволюция нефтегазоматеринских толщ Лаптеворской нефтегазоносной провинции. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;(3):46—59. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-46-59>
5. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Мустаев Р.Н., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Условия формирования и генерационный потенциал углеводородных систем Восточной Арктики. // Недропользование XXI век. 2020. № 4 (87). С. 28—37.
6. Ким Б.И., Рейнин И.В. Эволюция Восточно-Арктического шельфа и палеошельфа в плейстоцене: Проблемы кайнозойской палеоэкологии и палеогеографии морей Северного Ледовитого океана // Тез. докл. 3-й Всес. конф. КНЦ АН СССР. Апатиты, 1989. С. 44—45.
7. Косьюк М.К., Бондаренко Н.С., Непомилуев В.Ф. Государственная геологическая карта СССР. М-6 1: 200 000 (серия Новосибирские острова). Листы Т-54 — XXXI, XXXII, XXXIII; S-53 — IV,

- V, VI; S-53 — XI, XII; S-54 — I, II, III; S-54 — VII, VIII, XIX, XIII, XIV, XV. Объясн. Записка. М.: ПГО «Севморгеология», 1985. 162 с.
8. Щербина Ю.В., Керимов В.Ю., Касьянова Н.А. Основные направления геологоразведочных работ на нефть и газ в акватории Лаптево моря // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020 (в печати).
 9. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N. Generation and accumulation of hydrocarbons at great depths under the earth's crust SOCAR Proceedings. 2017. No 1. P. 4—16.
 10. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust Doklady Earth Sciences. 2018. No 483(1). P. 1413—1417.
 11. Kerimov V.Yu., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Generation and Accumulation Hydrocarbon Systems in the Eastern Arctic Waters IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled. 2021. No 666(5).
 12. Kuramshin R.M., Osipov A.V., Serov S.G. Classification of hydrocarbons. The results of the first year of implementation. Geomodel 2017 — 19th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Vol. 2017, September. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201702238>
 13. Lavrenova E.A., Kerimov V.Yu., Mamedov R.A., Shcherbina Yu.V. East Arctic Offshore Petroleum Systems Analysis Geomodel 2021 — 23th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Volume 2021, p. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157011>
 14. Otis R., Schneiderman N. A Process for Evaluating Exploration Process. AAPG Bulletin. 1997. No 81(7). P. 1087—1109.
 15. Shcherbina Yu.V. Sources, Conditions of Generation and Accumulation of Hydrocarbons in Sedimentary Basins of the Laptev Sea Based on The Results of Basin Modeling. Tyumen. Mar 2021., Vol. 2021. P. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202150037>

REFERENCES

1. Atlas of geological maps of Russia, CIS countries and neighboring countries m-ba 1:2,500,000. Forecast-mineragenic map for hydrocarbon raw materials St. Petersburg, 2008 (In Russian).
2. Guliev S., Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the earth: Scale and implications // Gornyi Zhurnal. 2018. No 11. P. 38—42.
3. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Structural-tectonic model of the basement and sedimentary cover of east Arctic water areas. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2020. No 1(1). P. 19—29 (In Russian). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>
4. Kerimov V.Yu., Shcherbina Yu.V., Ivanov A.A. Formation conditions and evolution of oil and gas source strata of the Laptev sea shelf ore and gas province. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2020. No 3. P. 46—59 (In Russian). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-46-59>
5. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Mustaev R.N., Shcherbina Yu.V., Mammadov R.A. Conditions of formation and generation potential of hydrocarbon systems of the Eastern Arctic // Nedropolzovanie XXI vek. 2020. No. 4 (87). P. 28—37 (In Russian).
6. Kim B.I., Rejnin I.V. The evolution of the East Arctic shelf and the paleoshelf in the Pleistocene: Problems of the Cenozoic paleoecology and paleogeography of the seas of the Arctic Ocean. Theses of the report of the 3rd allUnion conference — KSC of the Academy of Sciences of the USSR — Apatity, 1989. P. 44—45 (In Russian).
7. Kos'ko M.K., Bondarenko N.S., Nepomiluev V.F. State geological map of the USSR. M-b 1:200 000 (series Novosibirsk Islands). Sheets T-54 — XXXI XXXII XXXIII; S-53 — IV, V, VI; S-53 — XI, XII; S-54 — I, II, III; S-54 — VII, VIII, XIX, XIII, XIV, XV. Explained Note. Moscow: PGO "Sevmorgeologiya", 1985. 162 p. (In Russian).
8. Shcherbina Yu.V., Kerimov V.Yu., Kasyanova N.A. The main directions of geological exploration for oil and gas in the Laptev Sea // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2020. (in print) (In Russian).
9. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N. Generation and accumulation of hydrocarbons at great depths under the earth's crust SOCAR Proceedings. 2017. No 1. P. 4—16.
10. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust Doklady Earth Sciences. 2018. No 483(1). P. 1413—1417.
11. Kerimov V.Yu., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Generation and Accumulation Hydrocarbon Systems in the Eastern Arctic Waters IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled. 2021. No 666(5).
12. Kuramshin R.M., Osipov A.V., Serov S.G. Classification of hydrocarbons. The results of the first year of implementation. Geomodel 2017 — 19th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Vol. 2017, September. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201702238>
13. Lavrenova E.A., Kerimov V.Yu., Mamedov R.A., Shcherbina Yu.V. East Arctic Offshore Petroleum Systems Analysis Geomodel 2021 — 23th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Volume 2021, P. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157011>

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

14. Otis R., Schneiderman N. A Process for Evaluating Exploration Process. AAPG Bulletin. 1997. No 81(7). P. 1087—1109.
15. Shcherbina Yu.V. Sources, Conditions of Generation and Accumulation of Hydrocarbons in Sedimentary Basins of The Laptev Sea Based on The Results of Basin Modeling. Tyumen Mar 2021., Vol. 2021. P. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202150037>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Лавренова Е.А. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Щербина Ю.В. — присоединилась к подготовке текста статьи, оформила и выполнила перевод статьи на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Мамедов Р.А. — присоединился к подготовке текста статьи, оформил рисунки статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Elena A. Lavrenova — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Julia V. Shcherbina — joined the preparation of the text of the article, designed and performed the translation of the article into English and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Rustam A. Mamedov — joined the preparation of the text of the article, designed figures of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лавренова Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО АСАП «Сервис», отдел нефтегазовой геологии и бассейнового моделирования. 39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru
тел.: +7 (903) 452-45-94
SPIN-код: 1859-8634
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Elena A. Lavrenova — Cand. Sci. (Geol.-Min.), General Director of ASAP Service LLC, Department of Oil and Gas Geology and Basin Modeling. 39, Krasnogvardeyskaya str., Gelendzhik 353460, Russia
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru
tel.: +7 (903) 452-45-94
SPIN: 1859-8634
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Щербина Юлия Витальевна* — ведущий специалист управления фундаментальных и прикладных научных исследований ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: scherbinauv@mgri.ru
тел.: +7 (915) 024-93-03
SPIN-код: 3225-9373
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

Yulia V. Shcherbina* — leading specialist in the Department of fundamental and applied scientific research, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: scherbinauv@mgri.ru
tel.: +7 (915) 024-93-03
SPIN: 3225-9373
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

Мамедов Рустам Ахмедович — заведующий лабораторией, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: mamedovra@mgri.ru
тел.: +7 (977) 600-93-90
SPIN-код: 1694-6435
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

Rustam A. Mamedov — head of the laboratory, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: mamedovra@mgri.ru
tel.: +7 (977) 600-93-90
SPIN: 1694-6435
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-39-51>

УДК 551.262+551.24



ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗО-КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АНАДЫРСКОГО ПРОГИБА

С.А. ГУРЯНОВ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Анадырский прогиб в структурном отношении является краевым. В его составе выделяются четыре субрегиональных элемента. В пределах данного района широко развиты разрывные дислокации.

Цель исследования. В данной статье поднимается вопрос реконструкции палеогеографических и литолого-фациальных условий формирования мезо-кайнозойских отложений Анадырского прогиба путем анализа и обобщения комплекса исходных данных и построения палеогеографических и литолого-фациальных схем. Сведения об условиях формирования отложений исследуемой территории особенно важны с практической точки зрения, так как в ней располагаются углеводороды и полезные ископаемые.

Материалы и методы. На основе анализа мощностей и литолого-фациального состава отложений соответствующего возраста были выполнены палеогеографические реконструкции Анадырского прогиба. Результаты изучения вещественного состава отложений осадочного чехла Берингова моря и сопредельной суши — материалы бурения скважин, описания обнажений, а также анализ градиентов мощностей, результаты интерпретации сейсмических исследований и др. — использовались для построения литолого-фациальных схем.

Результаты. В ходе работы были построены карты обстановок осадконакопления. Результатом литолого-фациального анализа стали литолого-фациальные схемы для всех четырех основных осадочных комплексов Анадырского прогиба. По результатам обобщений геологических материалов и палеореконструкций были построены прогнозные схемы распространения флюидоупорных толщ в районе исследований.

Заключение. Установлено, что формирование осадочного чехла Анадырского прогиба происходило преимущественно в мелководных обстановках осадконакопления, а глубины палеобассейнов не выходили за пределы внутреннего относительно мелководного шельфа. На основе анализа было выбрано два наиболее вероятных коллектора. Охарактеризованы региональные флюидоупоры и вероятные покрывающие.

Ключевые слова: Анадырский прогиб, палеореконструкция, литолого-фациальный анализ, палеогеографические схемы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Гурянов С.А. Палеогеографические и литолого-фациальные условия формирования мезо-кайнозойских отложений анадырского прогиба. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):39—51. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-39-51>

Статья поступила в редакцию 31.08.2020

Принята к публикации 27.04.2021

Опубликована 31.05.2021

PALEO GEOGRAPHIC AND LITHO-FACIAL CONDITIONS OF MESO-CENOZOIC SEDIMENT FORMATION OF THE ANADYR DEPRESSION

SANAN A. GURYANOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State for Geological Prospecting University (MGRI)
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. The Anadyr depression has a marginal structure. It comprises four sub-regional elements. Disjunctive dislocations are widely developed within the area.

Aim. To reconstruct the paleogeographic and litho-facies conditions of the formation of the Meso-Cenozoic sediments of the Anadyr depression. The reconstruction was performed by evaluating the initial data and developing paleogeographic and litho-facies maps. Data on the conditions of sediment formation in the study area, rich in hydrocarbon and mineral deposits, is essential from a practical standpoint.

Materials and methods. Paleogeographic reconstructions of the Anadyr depression were performed based on an analysis of the sediment thickness and litho-facies composition of the relevant age. To build litho-facies maps, we used the data on the material composition of the Bering Sea sedimentary cover and adjacent areas, including well-drilling data, outcropping descriptions, thickness gradient analysis, seismic study results, etc.

Results. In the course of the work, sedimentary environment maps were created. Litho-facies maps were developed for all four main sedimentary complexes of the Anadyr depression. Based on the generalised geological data and paleoreconstructions, we constructed forecasting schemes of the distribution of barrier formations in the study area.

Conclusions. It was found that the formation of the sedimentary cover of the Anadyr depression took place mainly in shallow-water sedimentary environments. In addition, the depths of paleobasins did not overpass the internal relatively shallow marine shelf. Based on the analysis, two most probable reservoirs were selected. Regional fluid and potential seals were characterised.

Keywords: Anadyr depression, paleoreconstruction, litho-facies analysis, paleogeographic maps

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Guryanov S.A. Paleogeographic and litho-facial conditions of meso-cenozoic sediment formation of the Anadyr depression. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(4):39—51. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-39-51>

Manuscript received 31 August 2020

Accepted 27 April 2021

Published 31 May 2021

Анадырский прогиб расположен в зоне сочленения Чукотско-Анадырской системы докембрийско-палеозойских массивов Беринговоморской плиты и альпийской Камчатско-Корякской складчато-орогенной области и с севера граничит с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом [1, 2].

В структурном отношении, вслед за Е.Е. Миляновским, можно предположить, что Анадырский прогиб является краевым, в котором выделяются

четыре субрегиональных элемента: Западно-Анадырская и Восточно-Анадырская впадины, разделенные Туманским горстом, и Ламутская ступень, причем первые три находятся на складчато-метаморфическом основании Беринговоморской плиты, последний — на альпийском блоково-складчатом основании. В пределах исследуемого района широко развиты разрывные дислокации, среди которых выделяют нормальные сбросы, сбросо-сдвиги,

взбросы и надвиги. Преобладают продольные разломы. Максимальная плотность разрывных нарушений на единицу площади приходится на породы основания прогиба.

В геологическом разрезе Анадырского прогиба выделяются преимущественно докайнозойский фундамент и осадочный чехол, в основании которого залегают часто нерасчлененные верхнемел-палеогеновые отложения. Мощность осадочного чехла в среднем составляет 4,5—5 км, а в глубоких впадинах бассейнов по результатам сейсмических исследований достигает 7,5 км. В составе осадочного чехла бассейна выделяются следующие основные комплексы: мел-палеогеновый, нижнемиоценовый, средне-верхнемиоценовый, плиоцен-четвертичный, разделенные региональными поверхностями несогласий.

Материалы и методика исследований

Палеогеографические реконструкции Анадырского прогиба указанного района выполнялись на основе анализа мощностей и литолого-фациального состава отложений соответствующего возраста. При этом мощности кайнозойских отложений морской части района устанавливались по данным сейсмических съемок. Литолого-фациальный состав отложений анализировался по данным бурения и описания обнажений, содержащимся в публикациях, отчетах и пояснительных записках к листам Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000, закрывающей эти территории. Следует отметить, что основной объем такой информации характеризует континентальную часть исследований. Его морская часть охарактеризована только двумя скважинами — Лахтакской-1 и Центральной-1. Для получения представлений о возможном составе кайнозойских отложений в морской части района допускалась также экстраполяция разрезов из его континентальной части по простиранию оси Анадырского прогиба. Однако, учитывая существенную поперечную тектоническую дифференциацию этого прогиба, безусловно влияющую на характер кайнозойского осадконакопления, такая экстраполяция проводилась с осторожностью и учитывала совокупность дополнительных геологических факторов. В числе этих факторов: результаты интерпретации сейсмических разрезов, содержащиеся в отчетах о сейсмических съемках в Анадырском заливе и имеющие прогностическое значение в отношении литолого-фациального состава отложений, данные о градиентах мощностей отдельных кайнозойских комплексов, являющихся

признаками изменения литолого-фациального или формационного состава отложений.

Определенный объем полезной литолого-фациальной информации общего характера дают также результаты обобщения и анализа данных о строении разрезов американской части Берингова моря. В то же время следует отметить, что эти районы достаточно удалены от исследуемого, а учитывая существенную вертикальную дифференциацию в кайнозое структуры и рельефа плитной, орогенной и окраинно-континентальной частей берингоморского региона и, соответственно, областей сноса и седиментации, устанавливать надежные корреляционные отношения между формациями в удаленных друг от друга локальных осадочных бассейнах и прогнозировать на этом основании состав отложений в изучаемом районе не всегда возможно [4—6].

В качестве региональной канвы при выделении тех или иных элементов палеогеографии исследуемого района привлекались также результаты более ранних мелкомасштабных палеогеографических реконструкций, охватывающих весь берингоморский регион и прилегающие континентальные области [8, 11]. Для детализации некоторых палеогеоморфологических особенностей изучаемого района, особенно его континентальной части, учитывая активную роль в ее формировании новейших тектонических движений, использовались некоторые геолого-геоморфологические методы и приемы неотектонического анализа, основанные на комплексном изучении рельефа и геологического строения субстрата. Для построения литолого-фациальных схем использовались результаты изучения вещественного состава отложений осадочного чехла Берингова моря и сопредельной суши: материалы бурения скважин, описания обнажений, а также анализ градиентов мощностей, результаты интерпретации сейсмических исследований и др.

Результаты исследований

В результате проделанной работы были построены карты обстановок осадконакопления для периодов: поздний мел-палеоген, ранний миоцен, средний-поздний миоцен, плиоцен-плейстоцен (рис. 1).

К началу кайнозоя изучаемый район представлял собой преимущественно континентальную территорию с дифференцированным рельефом, в котором гористые области сочетались с холмистыми равнинами и низменностями, в пределах которых могли накапливаться

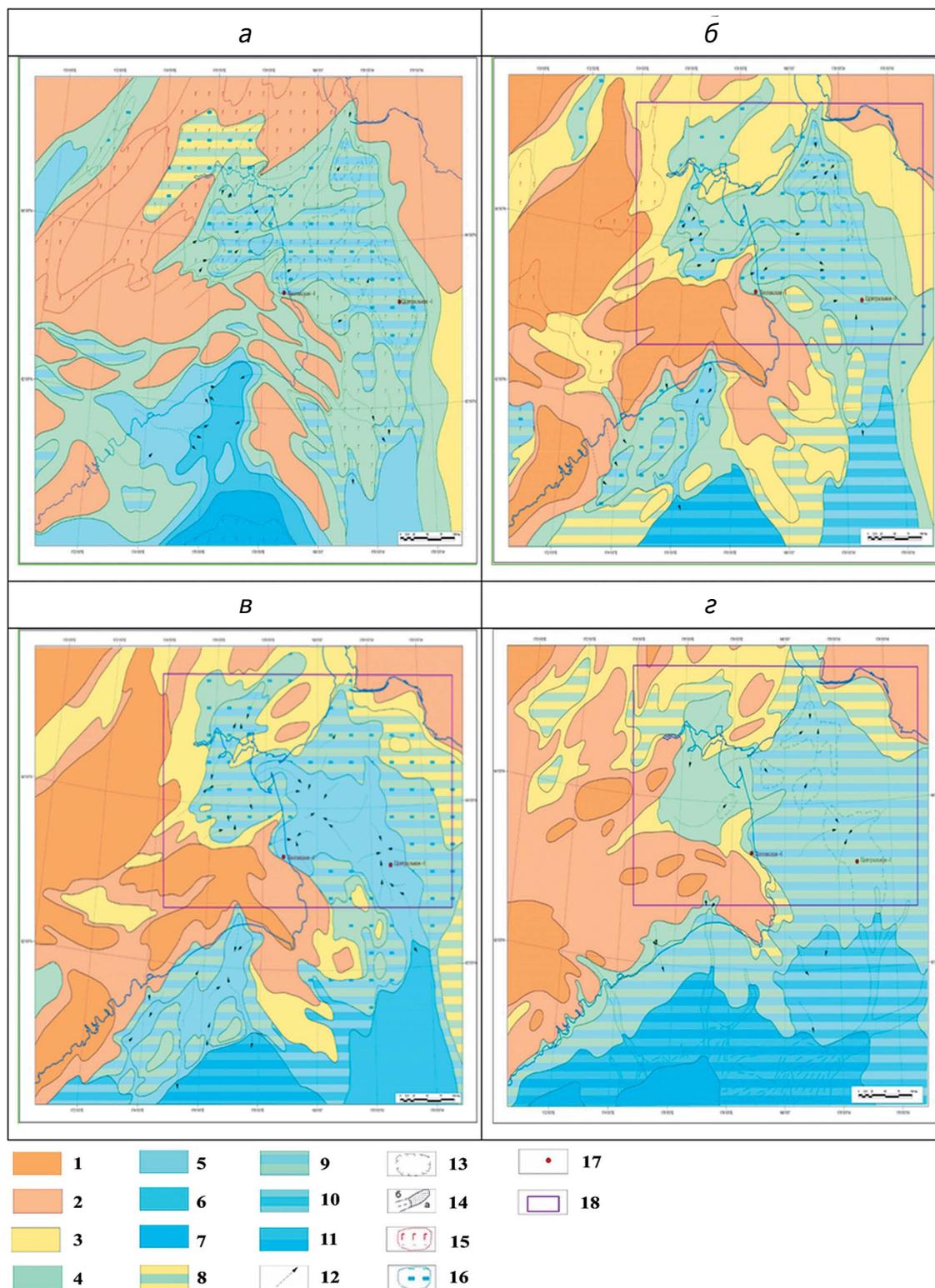


Рис. 1. Анадырский прогиб и прилегающие территории. Палеогеографические схемы: а — позднемиоценовое-палеогеновое время; б — раннемиоценовое время; в — средне-позднемиоценовое время; г — плиоцен-плейстоценовое время. 1 — горы, средне- и высокогорья; 2 — холмистые равнины, предгорья, низкогорья, островная и нерасчлененная суша; 3 — низкие плоские равнины; 4 — низменности, низкие приморские равнины, периодически

затопляемые морем; мелководные периодически осушаемые шельфы (глубиной до 20 м); 5 — внутренний, относительно мелководный шельф (глубины до 200 м); 6 — внешний, относительно глубоководный шельф (глубины до 200 и более); 7 — континентальный склон, глубоководные впадины (глубины до 2000 м и более); 8 — области чередования низких равнин и приморских низменностей; 9 — области чередующихся обстановок мелководного шельфа и остаточной лагуны или озера при осушении шельфовой области (глубины до 50 м и более); 10 — области чередования условий внутреннего и внешнего шельфа; 11 — области чередования обстановок шельфа и относительно глубоководной области; 12 — вероятные направления переноса обломочного материала; 13 — локальные впадины; 14 — подводные каналы, ложбины стока, палеорусл (а) и области их разгрузки (б); 15 — области вулканической деятельности; 16 — угленосные территории; 17 — некоторые скважины; 18 — район работ

Fig. 1. Anadyr depression and adjacent territories. Paleogeographic schemes: а — Late Cretaceous-Paleogene time; б — Early Miocene time; в — Middle-late Miocene time; г — Pliocene-Pleistocene time. 1 — mountains, middle- and highlands; 2 — hilly plains, foothills, low-hill terrain, insular and undivided land; 3 — low flat plains; 4 — lowlands, low coastal plains, periodically flooded by the sea; shallow periodically drained shelves (up to 20 m deep); 5 — internal, relatively shallow-water shelf (depths up to 200 m); 6 — outer, relatively deep-sea shelf (depths up to 200 and more); 7 — continental slope, deep-water depressions (depths up to 2000 m and more); 8 — areas of alternation of low plains and coastal lowlands; 9 — areas of alternating environments of a shallow shelf and a residual lagoon or lake during drainage of the shelf area (depths up to 50 m and more); 10 — areas of alternation of conditions of the inner and outer shelf, 11 — areas of alternation between shelf and relatively deep-water areas; 12 — likely directions of clastic material; 13 — local depressions; 14 — underwater channels, runoff depression, paleochannels (a) and areas of their discharge (b); 15 — areas of volcanic activity; 16 — coal-bearing areas; 17 — some wells; 18 — work area

континентальные отложения различного происхождения. Расположенный в пределах этого района Анадырский прогиб своей восточной частью на ранних стадиях альпийского этапа развития входил в состав системы прогибов северо-западного (Пенжинско-Ванкаремского) ограничения Берингоморской плиты. На поздних, кайнозойских стадиях развития он представлял собой область седиментации, в которой происходила периодическая смена морских и континентальных условий осадконакопления.

В палеогене район Анадырского прогиба представлял собой низменность или низкую приморскую равнину, которая соответствовала днищу топографической депрессии, заключенной между системой грядовых возвышенностей, расположенных на юго-западе, на месте современной Корякской складчато-орогенной системы и высокой холмистой равнины. В течение палеогена наиболее низменная часть этой депрессии периодически затоплялась в результате морских ингрессий с юга, со стороны Тихого океана. Область периодического затопления охватывала как минимум три локальные впадины района Анадырского залива. Одна из них отвечает современной Западно-Анадырской впадине, другая — прогибу Креста, третья — Восточно-Анадырской впадине.

При падении уровня моря или относительно тектоническом поднятии территории здесь могли оставаться озерно-лагунные заболоченные равнины, на которых происходило накопление угленосных отложений [22—24]. В этот

период весь рассматриваемый район характеризуется повышенной вулканической активностью. Периодическое затопление района Анадырского прогиба началось, скорее всего, со среднего эоцена и первоначально происходило в форме узких заливов, постепенно захватывая всё более обширные пространства прилегающих к ним участков топографической депрессии. Озерно-лагунные и шельфовые условия существовали в изучаемом районе в течение эоцена-олигоцена.

В начале миоцена в районе Анадырского залива происходит некоторое сокращение площадей периодического затопления и территорий, занятых низменностями, которые окаймляют области периодического затопления. Это явление связано с тем, что часть указанных площадей, примыкающих к Корякской орогенно-складчатой системе, вовлекается в слабое поднятие и преобразуется в высокие равнины. В то же время происходит углубление расположенной к югу области Наваринского прогиба, которая служит каналом для проникновения в изучаемый район тихоокеанских вод. В пределах Анадырского прогиба продолжается формирование угленосных толщ. Одновременно, возможно, в связи с импульсами тангенциальных сжатий со стороны развивающейся впадины [13, 15] Тихого океана, приведшими к очередной фазе смятия отложений и поднятий в Корякской складчатой системе, здесь происходит закрытие магматических каналов и прекращение вулканической деятельности.

С середины миоцена происходит заметное расширение области периодического

при осушении шельфа до 50 м и более, внутренний относительно мелководный шельф до 200 м (песчаники, алевролиты, аргиллиты, глины); 6 — локальные впадины шельфа (аргиллиты, глины, песчаники, алевролиты); 7 — внутренний относительно мелководный шельф до 200 м (аргиллиты, алевролиты, известковистые песчаники); 8 — внутренний относительно мелководный шельф до 200 м, внешний относительно глубоководный шельф (глины, алевролиты, аргиллиты, известковистые песчаники); 9 — внешний, относительно глубоководный шельф (глины, алевролиты, аргиллиты); 10 — внешний, относительно глубоководный шельф, области континентальных склонов и глубоководных впадин, глубина до 2000 м или более (глины, аргиллиты, алевролиты); 11 — области континентальных склонов и глубоководных впадин, глубина до 2000 м или более (аргиллиты, глины, алевролиты); 12 — области распространения углей в составе отложений; 13 — области распространения вулканитов в составе отложений; 14 — области распространения углей и вулканитов в составе отложений; 15 — пункты изучения вещественного состава пород; 16 — район работ

Fig. 2. Anadyr depression and adjacent territories. Lithologic-facies schemes: a — Upper Cretaceous Paleogene deposits; б — Lower Miocene deposits; в — Middle-Upper Miocene deposits; г — Pliocene-Pleistocene deposits. 1 — low and flat plains (conglomerates, sandstones, gravelstones); 2 — lowlands, low coastal plains, occasionally flooded by the sea; shallow periodically drained shelf up to 20 m (conglomerates, gravelstones, sandstones); 3 — lowlands, low coastal plains, occasionally flooded by the sea, shallow, periodically drained shelf up to 20 m, areas of alternating environments and shallow shelf, residual lagoons or lakes when the shelf is draining up to 50 m (sandstones, conglomerates, gravelites); 4 — areas of alternating environments and shallow-water shelf, residual lagoons or lakes when the shelf is drained to 50 m or more (siltstones, mudstones, sandstones, lignites); 5 — areas of alternating environments and shallow-water shelf, residual lagoons or lakes during shelf drainage up to 50 m and more, internal relatively shallow-water shelf up to 200 m (sandstones, siltstones, mudstones, clays); 6 — local shelf depressions (mudstones, clays, sandstones, siltstones); 7 — internal relatively shallow-water shelf up to 200 m (mudstones, siltstones, calcareous sandstones); 8 — internal relatively shallow-water shelf up to 200 m, external relatively deep-water shelf (clays, siltstones, mudstones, calcareous sandstones); 9 — outer, relatively deep-sea shelf (clays, siltstones, mudstones); 10 — outer, relatively deep-sea shelf, areas of continental slopes and deep-sea depressions, depths up to 2000 m or more (clays, mudstones, siltstones); 11 — areas of continental slopes and deep-sea depressions, depths up to 2000 m or more (mudstones, clays, siltstones); 12 — areas of distribution of coal in the composition of sediments; 13 — areas of distribution of volcanics in the composition of deposits; 14 — areas of distribution of coals and volcanics in the composition of deposits; 15 — sites for studying the material composition of rocks; 16 — work area

затопления в пределах Анадырского залива, которая занимает теперь не только собственно прогиб, но выходит далеко за его пределы, проникая вглубь расположенных вокруг равнины территорий по их низменным и долинным участкам [2, 9]. Непосредственно в Анадырском прогибе устанавливаются относительно стабильные условия внутреннего мелководного шельфа, существующие, однако, только в пределах современной акваториальной части этого прогиба, которая соединилась с относительно глубоководным заливом, расположенным на месте современного Наваринского прогиба. В западной части Анадырского прогиба периоды существования шельфовых условий осадконакопления чередовались с периодами развития низменных озерно-лагунных ландшафтов [21]. По периферии области Анадырской ингрессии располагались обширные территории, на которых происходило формирование угленосных толщ.

В плиоцене-плейстоцене происходит перестройка условий седиментации, которая связывается с образованием обширной шельфовой области, в состав которой, наряду с районом Анадырского залива, входят и другие районы Берингова моря, расположенные к востоку и северу от него. Эта перестройка связана с влиянием

сложного комплекса факторов, в котором сочетаются эндогенная составляющая, то есть общие колебательные и региональные тектонические движения, а также экзогенная (климатогеографическая), которая наряду с прочими отражает воздействие на уровень моря в этом районе периодов плейстоценовых оледенений и межледниковий [14]. Совокупность влияния этих факторов на обстановку осадконакопления в рассматриваемом районе привела к тому, что в течение плиоцен-плейстоцена он вместе с прилегающими к ней с востока районами Берингова моря неоднократно подвергался полному осушению с образованием континентальных «мостов» между Северо-Восточной Азией и северной частью американского континента и вновь уходил под воды северной части Тихого океана [16].

В результате литолого-фациального анализа были построены литолого-фациальные схемы для всех четырех основных осадочных комплексов Анадырского прогиба: верхнемел-палеогенового, нижнемиоценового, средне-верхнемиоценового и плиоцен-четвертичного (рис. 2).

В отложениях верхнего мела-палеогена в пределах Анадырского прогиба выделяются три основных компонента: терригенная, вулканогенная

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

и биогенная (уголь) составляющая [7]. Гранулометрическая размерность терригенной составляющей пород определяется обстановками осадконакопления — наблюдается тенденция уменьшения доли грубозернистых осадков с увеличением глубины палеобассейна. На этом фоне обособляются области с повышенным содержанием углей и вулканитов в составе отложений (рис. 2а).

Отложения раннего миоцена характеризуются отсутствием вулканогенного материала в составе пород, угленосные отложения развиты практически на всей территории прогиба (рис. 2б).

Средне-позднемиоценовые обстановки осадконакопления способствовали накоплению преимущественно грубозернистых разностей терригенных отложений в пределах изучаемой территории. В Анадырском прогибе в шельфовых обстановках накапливались относительно тонкозернистые осадки, обогащенные карбонатами [3, 10, 12].

В составе отложений, формировавшихся в прибрежно-морских условиях (низменности, периодически затапливаемые морем), присутствуют угли (рис. 2в). Такой характер распределения терригенных отложений в целом сохраняется и в плиоцен-четвертичное время [20]. При этом в составе отложений отсутствуют угли и карбонаты (рис. 2г).

Для литологической характеристики каждого слоя в модели на основании выполненных палеорекопструкций и подготовленных фациальных схем были созданы соответствующие смешанные литотипы (табл.).

Исследование коллекторских свойств пород показывает, что в кайнозойских отложениях наземной части Анадырского бассейна доминируют песчаники граувакковой группы [17—19]. Прямая аркозогового материала играет второстепенную роль. Отложения палеоцен-нижнеэоценового возраста и верхнего эоцена-олигоцена в целом

Таблица. Вещественная характеристика модели Анадырского прогиба и прилегающих территорий
Table. Material characteristics of the model of the Anadyr depression and adjacent territories

Возраст комплекса	Литологический состав в соответствии с фациальной зоной							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Поздний мел-палеоген	-	Мергели (50), известняки (50)	Мергели (50), известняки (50)	Мергели (50), известняки (50)	Мергели (70), песчаники (10), алевролиты (10), глины (10)	Глины (50), мергели (50)		
Нижний миоцен	-	Мергели (40), глины (30), алевролиты (30)	Мергели (40), известняки (20), глины (40)	Мергели (40), алевролиты (20), глины (20), песчаники (20)	Мергели (20), аргиллиты (10), глины (40), песчаники (10), известняки (20)	Глины (70), мергели (10), песчаники (10), алевролиты (10)		
Средний — поздний миоцен	-	Конгломераты (20), валуны (20), глины (20), песчаники (40) и песчаники (30), глины (40), алевролиты (30) (для области вала Шатского)	Песчаники (30), глины (40), алевролиты (30)	Песчаники (15), глины (70), алевролиты (15)	Глины (80), аргиллиты (20)	Глины (100)		
Плиоцен-квартер	-	Конгломераты (20), песчаники (20), глины (20), алевролиты (20), мергели (20)	Песчаники (20), глины (40), алевролиты (20), мергели (20)	Песчаники (15), глины (70), алевролиты (15)	Глины (80), аргиллиты (20)	Глины (100)		

Примечание

I — низкие плоские равнины, II — низменности, низкие приморские равнины, эпизодически затапливаемые морем; мелководный, периодически осушаемый шельф до 20 м, области чередующихся обстановок и мелководного шельфа, остаточные лагуны или озера при осушении шельфа до 50 м, III — области чередующихся обстановок и мелководного шельфа, остаточные лагуны или озера при осушении шельфа до 50 м и более, IV — области чередующихся обстановок и мелководного шельфа, остаточные лагуны или озера при осушении шельфа до 50 м и более, внутренний относительно мелководный шельф до 200 м, V — локальные впадины шельфа, VI — внутренний относительно мелководный шельф до 200 м, VII — внешний, относительно глубоководный шельф, VIII — области континентальных склонов и глубоководных впадин, глубина до 2000 м или более.

В скобках указано содержание соответствующего литотипа в %.

характеризуются низкими коллекторскими свойствами. В кайнозойских отложениях можно выделить 12 толщ, содержащих пласты песчаников, песков и гравелитов, обладающих достаточно хорошими коллекторскими свойствами, четыре из них залегают в палеогеновом комплексе и восемь — в неогеновом. В целом коллекторские свойства неогеновых отложений лучше, чем палеогеновых, при этом они ухудшаются с увеличением глубины их залегания [25].

С учетом выполненных исследований и обобщений были выбраны два наиболее вероятных коллектора: пласты терригенных крупнозернистых отложений собольковского и автаткульского горизонтов, для которых были построены прогнозные

схемы пористости резервуаров (рис. 3).

Выводы

Анализ палеогеографических реконструкций показывает, что формирование осадочного чехла Анадырского прогиба происходило преимущественно в мелководных обстановках осадконакопления, а глубины палеобассейнов не выходили за пределы внутреннего относительно мелководного шельфа.

В отложениях верхнего мела-палеогена в пределах Анадырского прогиба выделяются три основных компонента: терригенная, вулканогенная

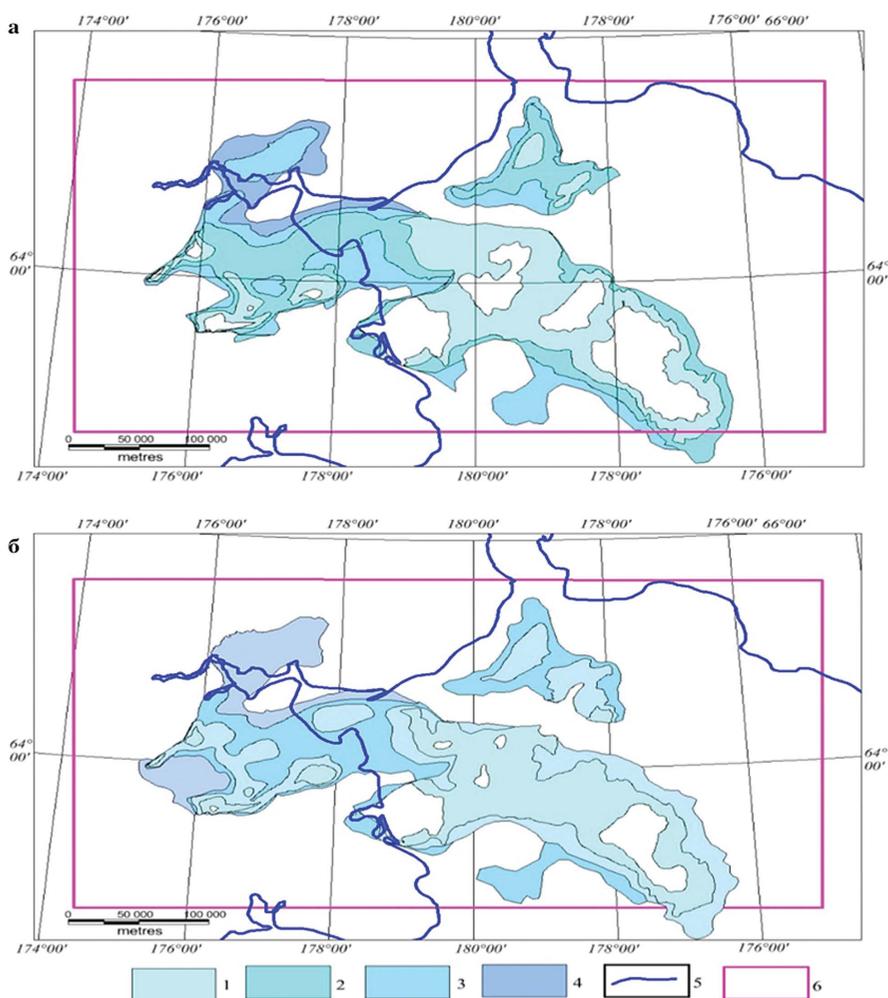


Рис. 3. Анадырский прогиб и прилегающие территории. Схемы пористости резервуаров: а — в нижнемиоценовых отложениях (собольковский горизонт), верхнемеловых-палеогеновых отложениях; б — в среднемиоценовых отложениях (автаткульский горизонт). 1—4 — пористость (%): 1 — 20—25; 2 — 25—30; 3 — 30—35; 4 — 35—40; 5 — береговая линия; 6 — район исследований

Fig. 3. Anadyr depression and adjacent territories. Reservoir porosity schemes: а — in the Lower Miocene deposits (Sobol'kovskiy horizon); Upper Cretaceous-Paleogene deposits; б — in the Middle Miocene sediments (Avtakul'skiy horizon). 1—4 — porosity (%): 1 — 20—25; 2 — 25—30; 3 — 30—35; 4 — 35—40; 5 — coastline; 6 — research area

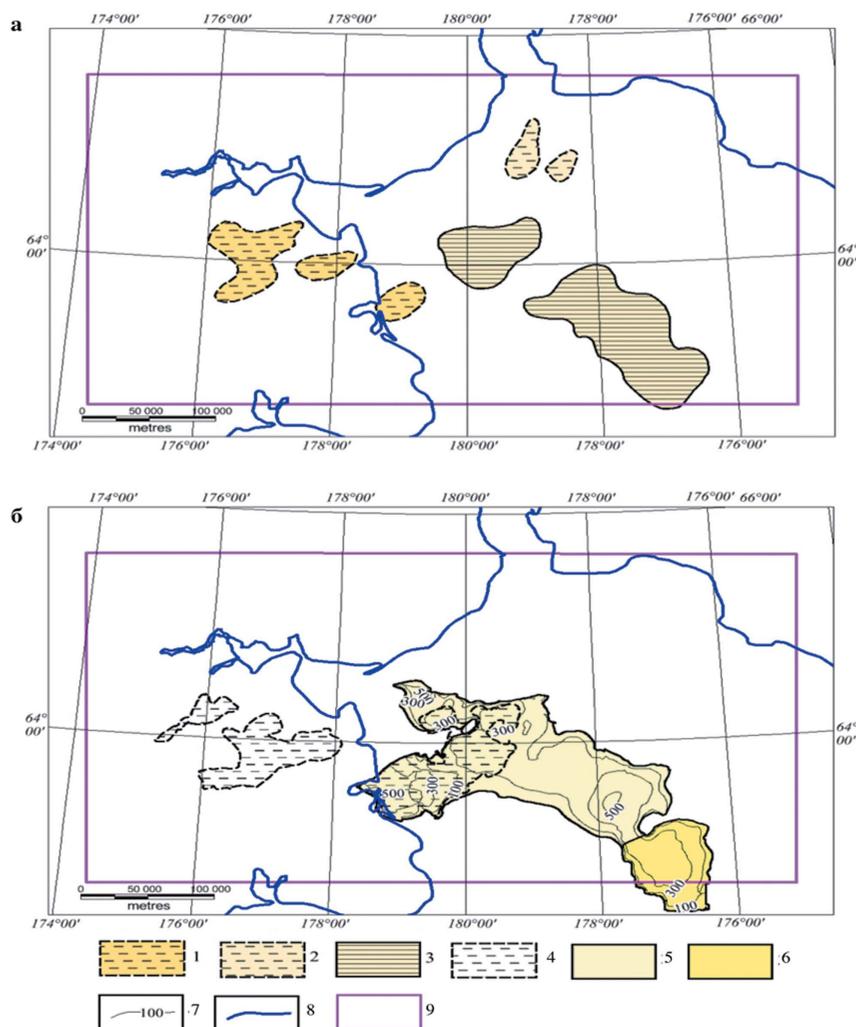


Рис. 4. Анадырский прогиб и прилегающие территории. Схема распространения флюидоупорных толщ: а — палеогена (майницкий горизонт); б — миоцена. 1 — невыдержанные по простиранию флюидоупоры нижней подсвиты майницкой свиты; 2 — невыдержанные по простиранию флюидоупоры верхней подсвиты майницкой свиты; 3 — выдержанные по простиранию флюидоупоры верхней подсвиты майницкой свиты; 4 — невыдержанные по простиранию терригенные флюидоупоры миоцена; 5, 6 — выдержанные по простиранию флюидоупоры опал-кristобалитового состава верхнего миоцена (5 — средние флюидоупорные свойства, 6 — хорошие флюидоупорные свойства); 7 — изопакты толщи, содержащей флюидоупоры опал-кristобалитового состава; 8 — береговая линия; 9 — район исследования

Fig 4. Anadyr depression and adjacent territories. Scheme of distribution of fluid-tight strata: a — Paleogene (Mainitsky horizon); б — Miocene. 1 — seals of the lower subformation of the Mainitskaya Formation, unstable along the strike; 2 — fluid seals of the upper subformation of the Mainitskaya Formation, unstable along the strike; 3 — seals of the upper subformation of the Mainitskaya suite, sustained along the strike; 4 — terrigenous seals of the Miocene unstable along the strike; 5, 6 — persistent along strike fluid seals of the opal-cristobalite composition of the Upper Miocene (5 — medium fluid-resistant properties, 6 — good fluid-resistant properties); 7 — isopachs of a stratum containing seals of opal-cristobalite composition; 8 — coastline; 9 — study area

и биогенная (уголь) составляющие. Гранулометрическая размерность терригенной составляющей пород определяется обстановками осадконакопления — наблюдается тенденция уменьшения доли грубозернистых осадков с увеличением глубины палеобассейна. На этом фоне обособляются

области с повышенным содержанием углей и вулканитов в составе отложений.

С учетом выполненных исследований и обобщений были выбраны два наиболее вероятных коллектора: пласты терригенных крупнозернистых отложений собольковского

и автаткульского горизонтов. Отложения суши обладают более высокой пористостью по сравнению с морской частью исследуемого района. Так, в районе площадей Эчинская, Верхне-Эчинская, Верхне-Телекайская, Западно-Озерная и др. значения пористости близки к измеренным и изменяются от 15 до 35 %. Пористость в акваториальной части ниже — варьирует от 12 до 35 %. Преобладают значения 15—25 %.

Флюидоупорным комплексом в палеогене являются породы верхнего эоцена-олигоцена (майницкая свита). В акваториальной части

прогиба в качестве регионального флюидоне-проницаемого комплекса рассматривается трансгрессивно-регрессивная среднеэоцено-олигоценовая толща (аналог майницкого горизонта на суше). Наиболее вероятными покровками могут являться терригенные отложения майницкой свиты и отложения миоцена: терригенные в нижней части (глинистые прослои собольковского, автаткульского и телекайского горизонтов) и опал-кристобалитовые в верхней (туфодиамитовая толща телекайского горизонта) (рис. 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Айелло И.В., Кристина Равело А. Эволюция морского осадконакопления в Беринговом море с плиоцена // Геосфера. 2012. Т. 8. № 6. С. 1231—1253.
2. Голубев В.М. Геология дна, геодинамика и нефтегазоносность Беринговоморского региона. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 1997. С. 27.
3. Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н. Дегазация Земли: масштабы и последствия // Горный журнал. 2018. № 11. С. 38—42.
4. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Бондарев А.В. Оценка генерационного потенциала сланцевых низкопроницаемых толщ (майкопская серия Кавказа) // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. 2018. № 1. С. 4—20.
5. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н. Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. 2017. № 1. С. 4—16.
6. Холл Р. Кайнозойская геологическая и тектоническая эволюция плит Юго-Восточной Азии и Юго-Западной части Тихого океана: компьютерные реконструкции, модели и анимация // Журнал азиатских наук о Земле. 2002. № 20. С. 353—431.
7. Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Минлигалиева Л.И., Гусейнов А.А. Условия формирования и развития пустотного пространства на больших глубинах // Нефтяное хозяйство. 2019. № 4. С. 17—22.
8. Керимов В.Ю., Гордадзе Г.Н., Лapidус А.Л., Гируц М.В., Мустаев Р.Н., Мовсумзаде Э.М., Жагфаров Ф.Г., Захарченко М.В. Физико-химические свойства и генезис асфальтитов Оренбургской области // Химия твердого топлива. 2018. № 1. С. 59—67.
9. Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н. Оценка геологических рисков при поиске и разведке залежей углеводородов // Нефтяное хозяйство. 2017. № 8. С. 36—41.
10. Керимов В.Ю., Леонов М.Г., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Хай В.Н. Углеводороды в фундаменте шельфа Южно-Китайского моря (Вьетнам) и структурно-тектоническая модель их формирования // Геотектоника. 2019. № 1. С. 44—61.
11. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Осипов А.В. Особенности генерации углеводородов на больших глубинах в коре // Доклады наук о Земле. 2018. № 483 (1). С. 1413—1417.
12. Керимов В.Ю., Гордадзе Г.Н., Мустаев Р.Н., Бондарев А.В. Условия формирования углеводородных систем Сахалинского шельфа Охотского моря на основе геохимических исследований и моделирования // Восточный журнал химии. 2018. № 34 (2). С. 934—947.
13. Лapidус А.Л., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Мовсумзаде Э.М., Салихова И.М., Жагфаров Ф.Г. Природные битумы — физико-химические свойства и технологии добычи // Химия твердого топлива. 2018. № 6. С. 4—15.
14. Лapidус А.Л., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Мовсумзаде Э.М., Захарченко М.В. Майкопские керогенные сланцевые толщи Кавказа: генеративный потенциал // Горючие сланцы. 2018. № 35 (2). С. 113—127.
15. Ли М., Стасюк Л., Максвелл Р., Монье Ф. Геохимические и петрологические данные о третичных наземных и меловых морских потенциальных нефтематеринских породах на западной окраине побережья Камчатки, Россия // Органическая геохимия. 2006. Т. 37 (3). С. 304—320.
16. Маклин Х. Обзор нефтяной геологии Анадыря и Хатырского бассейна. СССР // Вестник ААПГ. 1979. Т. 67. С. 1467—1477.
17. Мустаев Р.Н., Хай В.Н., Керимов В.Ю., Леонова Е.А. Генерация и условия образования залежей углеводородов в бассейне Кюлонг по результатам моделирования углеводородных систем // 17-я научно-практическая конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа. Геомодель. 2015. С. 212—216.
18. Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Дмитриевский С.С. Моделирование термобарических условий формирования сланцевых скоплений углеводородов в низкопроницаемых коллекторах хадумской формации Предкавказья // 18-я научно-практическая конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа. Геомодель. 2016. № 12.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

19. Мустаев Р.Н., Захарченко М.В., Керимова Л.И., Салихова И.М. Химическая структура керогена сланцевых формаций (на примере сланцевых формаций Восточно-Европейской платформы) // Восточный журнал химии. 2018. № 34 (5). С. 2317—2324.
20. Мустаев Р.Н. Геохимические условия образования нефти и газа в Южно-Каспийском бассейне по результатам изучения грязевого вулкана // Восточный журнал химии. 2017. № 33 (4). С. 2036—2044.
21. Огури К., Харада Н., Тадаи О. Избыточные концентрации РВ и СS, темпы массового накопления и осадочные процессы на континентальном шельфе Берингова моря // Глубоководные исследования Часть II: Актуальные исследования в океанографии. 2012. Т. 61—64. С. 193—204.
22. Савицкий А.В., Грецкая Е.В., Рыбак-Франко Ю.В., Соловьев А.В. Перспективы геологоразведочных работ в глубоководных осадочных бассейнах Берингова моря и Тихого океана // Геология нефти и газа. 2016. № 5. С. 58—66.
23. Шенк О., Магун Л.Б., Берд К.Дж., Петерс К.Э. Моделирование нефтяных систем Северной Аляски: новые горизонты в исследованиях и применениях // AAPG Hedberg. 2012. № 4. С. 317—338.
24. Такаши К. Берингово море и палеоокеанография // Глубоководные исследования. Часть II: Актуальные исследования в океанографии. 2005. Т. 52. № 16—18. С. 2080—2091.
25. Тёрнер Ф., Мартин К., Флетт О., Стеффи А. Геологический отчет для зоны планирования бассейна «Наварин», Берингово море, Аляска, Служба управления полезными ископаемыми США // Отчет OCS MMS 85-0045. С. 156.

REFERENCES

1. Aiello I.W., Christina Ravelo A. Evolution of marine sedimentation in the Bering Sea since the Pliocene // Geosphere. 2012. Т. 8. № 6. P. 1231—1253.
2. Golubev V.M. Bottom geology, geodynamics and oil and gas potential of the Bering Sea region. Abstract of the dissertation of cand. geol.-min. sciences. St. Petersburg, 1997. P. 27.
3. Guliev, I.S., Mustaeв, R.N., Kerimov, V.Y., Yudin, M.N. Degassing of the earth: Scale and implications // Gornyi Zhurnal. 2018. № 11. P. 38—42.
4. Guliyev, I.S., Kerimov, V.Y., Mustaeв, R.N., Bondarev, A.V. The Estimation of the Generation Potential of the Low Permeable Shale Strata of the Maikop Caucasian Series // SOCAR Proceedings. 2018. № 1. P. 4—20.
5. Guliyev, I.S., Kerimov, V.Y., Osipov, A.V., Mustaeв, R.N. Generation and accumulation of hydrocarbons at great depths under the earth's crust // SOCAR Proceedings. 2017. № 1. P. 4—16.
6. Hall R. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations // Journal of Asian Earth Sciences. 2002. № 20. P. 353—431.
7. Kerimov, V., Osipov, A.V., Mustaeв, R.N., Minligalievа, L.I., Huseynov, D.A. Conditions of formation and development of the void space at great depths // Oil Industry. 2019, № 4. P. 22—27.
8. Kerimov, V.Yu., Gordadze, G.N., Lapidus, A.L., Giruts, M.V., Mustaeв, R.N., Movsumzade, E.M., Zhagfarov, F.G., Zakharchenko, M.V. Physicochemical Properties and Genesis of the Asphaltites of Orenburg Oblast // Solid Fuel Chemistry. 2018. № 1. P. 59—67.
9. Kerimov, V.Yu., Bondarev, A.V., Mustaeв, R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits // Oil Industry, 2017. № 8. P. 36—41.
10. Kerimov, V.Yu., Leonov, M.G., Osipov, A.V., Mustaeв, R.N., Hai, V.N. Hydrocarbons in the Basement of the South China Sea (Vietnam) Shelf and Structural-Tectonic Model of their Formation // Geotectonics. 2019. № 53 (1). P. 42—59.
11. Kerimov, V.Yu., Mustaeв, R.N., Osipov, A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust // Geosciences Reports. 2018. № 483 (1). P. 1413—1417.
12. Kerimov, V.Yu., Gordadze, G.N., Mustaeв, R.N., Bondarev, A.V. Formation conditions of hydrocarbon systems on the Sakhalin shelf of the sea of Okhotsk based on the geochemical studies and modeling // Oriental Journal of Chemistry. 2018. № 34 (2). P. 934—947.
13. Lapidus, A.L., Kerimov, V.Yu., Mustaeв, R.N., Movsumzade, E.M., Salikhova, I.M., Zhagfarov, F.G. Natural Bitumens: Physicochemical Properties and Production Technologies // Solid Fuel Chemistry. № 52 (6). P. 344—355.
14. Lapidus, A.L., Kerimov, V.Yu., Mustaeв, R.N., Movsumzade, E.M., Zakharchenko, M.V. Caucasus Maykopian kerogenous shale sequences: Generative potential // Oil Shale. 2018. № 35 (2). P. 113—127.
15. Li M., Stasiuk L., Maxwell R., Monnier F. Geochemical and petrological evidence for Tertiary terrestrial and Cretaceous marine potential petroleum source rocks in the western Kamchatka coastal margin, Russia // Organic Geochemistry. 2006. Vol. 37 (3). P. 304—320.
16. McLean H. Review of petroleum geology of Anadyr and Khatyrka basin. USSR // AAPG Bulletin. 1979. Vol. 67. P. 1467—1477.
17. Mustaeв R.N., Hai W.N., Kerimov V.Yu., Leonova E.A. Generation and Conditions Formation of Hydrocarbon Deposits in Kyulong Basin by Simulation Results Hydrocarbon Systems // Geomodel 2015 — 17th Scientific-Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. P. 212—216.
18. Mustaeв R.N., Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs khadum formation Ciscaucasia // Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. № 12.

19. Mustaev R.N., Zakharchenko M.V., Kerimova L.I., Salihova I.M. Chemical structure of kerogen of shale formations (By the Example of the Shale Formations of the East European Platform) // *Oriental Journal of Chemistry*. 2018. № 34 (5). P. 2317—2324.
20. Mustaev R.N. Geochemical environment of oil and gas occurrences in the South-Caspian basin based on the results of the study of Mud Volcano Ejecta // *Oriental Journal of Chemistry*. 2017. № 33 (4). P. 2036—2044.
21. Oguri K., Harada N., Tadao O. Excess PB and CS concentrations, mass accumulation rates, and sedimentary processes on the Bering Sea continental shelf // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2012. Vol. 61—64. P. 193—204.
22. Savickiy A.V., Greckaya E.V., Rybak-Franko Yu.V., Solov'yov A.V. Prospects for geological exploration in deep-water sedimentary basins of the Bering Sea and the Pacific Ocean // *Geology of Oil and Gas*. 2016. No. 5. P. 58-66.
23. Shenk O., Magoon L.B., Bird K.J., Peters K.E. Petroleum system modeling of northern Alaska / In book: K.E. Peters, D.J. Curry, M. Kacwicz (eds.) *Basin Modeling: New Horizons in Research and Applications* // AAPG Series. № 4. P. 317—338.
24. Takashi K. The Bering Sea and paleoceanography // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2005. Vol. 52. № 16—18. P. 2080—2091.
25. Turner F., Martin C., Flett O., Steffy A. Geologic Report for the Navarin Basin Planning Area, Bering Sea, Alaska, United States Minerals Management Service // OCS Report MMS 85-0045. 156 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Гурянов С.А. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sanan A. Guryanov — made the concept of the article, prepared the text of the article, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Гурянов Санан Агилович — ассистент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: guryanov_1996@inbox.ru

тел.: +7 (903) 187-88-88

SPIN-код: 1663-2705

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

Sanan A. Guryanov — assistant of the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: guryanov_1996@inbox.ru

tel.: +7 (903) 187-88-88

SPIN: 1663-2705

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>



ТИПЫ РЕК — ИСТОЧНИКОВ ТОНКОЙ АЛЮМОСИЛИКОКЛАСТИКИ ДЛЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРЫ И НИЖНЕГО МЕЛА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАССЕЙНА

А.В. МАСЛОВ^{1,2}

¹ ФГБУН «Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого» УрО РАН
15, Вонсовского ул., г. Екатеринбург 620016, Россия

² Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Литогеохимические особенности тонкозернистых обломочных пород (аргиллитов, глинистых сланцев, мелкозернистых алевролитов) позволяют с определенным успехом реконструировать основные параметры формирования осадочных последовательностей, в том числе (в первую очередь по их РЗЭ- и Th-систематике) тип речных систем (речные системы категории 1 — крупные реки с площадью водосборов более 100 000 км²; то же категории 2 — реки, питающиеся продуктами эрозии осадочных отложений; то же категории 3 — реки, дренирующие преимущественно магматические и метаморфические породы; то же категории 4 — реки, несущие продукты размыва вулканических ассоциаций), поставлявших в области осадконакопления тонкую терригенную взвесь.

Цель. Нами сделана попытка расшифровать на основе анализа соотношений таких параметров, как $(La/Yb)_N$, Eu/Eu^* и содержание Th, типы речных систем, питавших тонкозернистым обломочным материалом юрские и нижнемеловые отложения Шаимского нефтегазоносного района (НГР) (шеркалинская, тюменская, абалакская и мулымьинская свиты) и района Северо-Покачевского месторождения Широтного Приобья (шеркалинская, тюменская, баженовская свиты, отложения нижнего мела).

Материалы и методы. Для анализа особенностей распределения в глинистых породах юры и нижнего мела Шаимского НГР и района Северо-Покачевского месторождения лантаноидов и Th использованы данные, полученные методом ИСП МС для почти 100 образцов аргиллитов и мелкозернистых глинистых алевролитов. Исследовано индивидуальных и средних для свит, пачек и пластов индивидуальных и средних точек состава на разработанных нами диаграммах $(La/Yb)_N$ - Eu/Eu^* , $(La/Yb)_N$ -Th с классификационными областями состава тонкого взвешенного материала современных рек разных категорий.

Результаты и заключение. Приведенные в статье результаты показывают, что при формировании отложений Шаимского НГР в ранней и средней юре размыв затрагивал либо преимущественно осадочные образования, либо весьма пестрые по составу слагающих их пород палеоводосборы. В поздней юре областью сноса выступала, по всей видимости, вулканическая провинция, сложенная преимущественно магматическими породами основного состава и располагавшаяся в пределах Урала. Такой вывод позволяет думать, что снос обломочного материала с Урала в Приуральскую часть Западно-Сибирского бассейна «оживляется» заметно ранее готерива. Юрско-нижнемеловой разрез окрестностей Северо-Покачевского месторождения почти полностью сложен тонкой алюмосиликокластикой, сформированной за счет размыва вулканических образований. Располагались они, как это следует из материалов ранее выполненных палеогеографических реконструкций, вероятно, в пределах Алтае-Саянской области или Северного Казахстана. Таким образом, питание рассмотренных нами территорий Западно-Сибирского бассейна обломочным материалом в юре и начале мела имело ряд существенных отличий.

Ключевые слова: типы рек, глинистые породы, юра, нижний мел, Шаимский НГР, Широтное Приобье, литогеохимия

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены в соответствии с темами госзаданий ИГГ УрО РАН и ГИН РАН.

Благодарности: автор искренне признателен Ю.Н. Федорову, трагически погибшему в авиакатастрофе в 2012 г., В.П. Алексееву и Ю.Л. Ронкину, предоставившим возможность работы с керном и аналитическими данными по глинистым породам юры и нижнего мела, а также Н.С. Глушковой, подготовившей иллюстрации к данной работе.

Для цитирования: Маслов А.В. Типы рек — источников тонкой алюмосиликокластики для отложений юры и нижнего мела Западно-Сибирского мегабассейна. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(4):52—61. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-52-61>

Статья поступила в редакцию 08.05.2020

Принята к публикации 05.09.2020

Опубликована 31.05.2021

TYPES OF RIVER SOURCES OF THE THIN-GRAINED ALUMINOSILICA CLASTICS FOR THE JURASSIC AND LOWER CRETACEOUS DEPOSITS OF THE WEST SIBERIAN MEGABASIN

ANDREY V. MASLOV^{1,2}

¹ Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch (UB) of the Russian Academy of Sciences (RAS)
15, Vonsovskogo str., Yekaterinburg 620016, Russia

² Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky lane, Moscow 19017, Russia

ABSTRACT

Background. The lithogeochemical features of fine-grained detrital rocks (mudstones, shales, and fine-grained siltstones) allow, with a certain degree of success, the main parameters of the formation of sedimentary sequences to be reconstructed. These parameters include (primarily in terms of their REE and Th systematics) the types of river systems supplying thin terrigenous suspension in the sedimentation area: the rivers of the 1st category – large rivers with a catchment area of more than 100,000 km²; 2nd category – rivers feeding on the products of erosion of sedimentary deposits; 3rd category – rivers draining mainly igneous and metamorphic rocks; and 4th category – rivers carrying erosion products of volcanic associations.

Aim. To reveal, based on the analysis of interrelationships between such parameters as (La/Yb)_N, Eu/Eu* and the Th content, the types of river systems that fed the Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the Shaim oil and gas region (OGR) (Sherkalinsky, Tyumen, Abalak and Mulymya formations) and the region of the North Pokachevsky field of the Shirotnoe Priobye region (Sherkalinsky, Tyumen and Bazhenov formations, Lower Cretaceous deposits).

Materials and methods. The ICP MS data for almost 100 samples of mudstones and fine-grained clayey siltstones were used to analyse the features of distribution of lanthanides and Th in the Jurassic and Lower Cretaceous clayey rocks of the Shaim OGR and the area of the North Pokachevsky deposits. Individual and average composition points for formations, members and layers were plotted on the (La/Yb)_N-Eu/Eu*, (La/Yb)_N-Th diagrams developed by us with classification areas of the composition of fine suspended material of modern rivers of different categories.

Results and conclusion. The results presented in the article showed that during the formation of the deposits of the Shaim OGR in the Early and Middle Jurassic, erosion affected either mainly sedimentary formations or paleo-catchment areas that were very variegated in their rock composition. In the Late Jurassic, the source area was, most likely, a volcanic province, composed mainly of igneous rocks of the basic composition, and located within the Urals. This conclusion suggested that the transfer of clastic material from the Urals to the Urals part of the West Siberian basin “revived” much earlier than the Hauterivian. The Jurassic-Lower Cretaceous section of the vicinity of the North Pokachevsky field was almost entirely composed of thin aluminosilica clastics formed due to the erosion of volcanic formations. These volcanic formations were located, as followed from the

materials of earlier performed paleogeographic reconstructions, probably within the Altai-Sayan region or Northern Kazakhstan. Thus, the supply of detrital material in the considered territories of the West Siberian basin had a number of significant differences in the Jurassic and early Cretaceous.

Keywords: river types, clayey rocks, Jurassic, Lower Cretaceous, Shaim oil and gas region, Shirotnoe Priobye, litho geochemistry

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: the research was conducted in accordance with the topics of the state tasks of the IGG UrO RAS and the GIN RAS.

Acknowledgments: the author is sincerely grateful to Yu. N. Fedorov, who tragically died in a plane crash in 2012, V. P. Alekseev and Yu. L. Ronkin, who provided the opportunity to work with kern and analytical data on clay rocks of the Jurassic and Lower Cretaceous, as well as N.S. Glushkova, who prepared illustrations for this work.

For citation: Maslov A.V. Types of river sources of the thin-grained aluminosilicaclastics for the Jurassic and lower cretaceous deposits of the West Siberian megabasin. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(4):52—61. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-52-61>

Manuscript received 08 May 2020

Accepted 09 September 2020

Published 31 May 2021

Литогеохимические особенности тонкозернистых терригенных пород (аргиллитов, глинистых сланцев, мелкозернистых алевролитов) позволяют, как известно, с определенной долей успеха реконструировать основные параметры формирования осадочных последовательностей различного возраста (палеогеодинамика, палеоклимат, палеогеография, окислительно-восстановительные условия и др.) [8, 10, 11 и др.]. Эти данные дают возможность также судить о составе палеоводосборов и ряде других характеристик процессов осадконакопления. В последние годы на основе сведений о микроэлементном составе взвешенного материала / донных осадков устьевых зон современных рек разных типов/категорий [9] с использованием парных диаграмм $(La/Yb)_N - \epsilon Nd(0)$, $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N - (Eu/Sm)_N$ и $(La/Yb)_N - Th^1$ [5] появилась возможность реконструировать

¹ Практически все использованные здесь параметры отражают те или иные особенности состава пород, слагающих палеоводосборы рек различных категорий. Так, значения $(La/Yb)_N$ выше 8—10 свойственны кислым магматическим/метаморфическим породам, а меньше 4—5 — породам основного и сходного состава. Отрицательные величины $\epsilon Nd(0)$ предполагают, что в размыв были вовлечены достаточно древние комплексы континентальной коры, тогда как околонулевые или положительные значения данного параметра дают возможность предполагать присутствие на водосборах преимущественно вулканических или ювенильных магматических комплексов. Заметные отрицательные значения Eu/Eu^* , как и $(Eu/Sm)_N$, являются указанием на присутствие на палеоводоразделах кислых магматических пород, а положительные их величины позволяют думать о преобладании в областях размыва основных магматических образований.

и типы рек, поставлявших тонкую терригенную/алюмосиликокластическую взвесь в области осадконакопления в геологическом прошлом.

Возможность использования перечисленных выше парных диаграмм для решения ряда актуальных вопросов показана на примере современных рек российской Арктики [5], а также отложений рифея Южного Урала [3] и некоторых других регионов. В настоящей публикации на примере юрско-нижнемеловых отложений Шаимского нефтегазоносного района (НГР) и Широного Приобья (район Северо-Покачевского месторождения) (рис. 1) сделана попытка применить указанный подход к исследованию мезозойских отложений Западной Сибири, палеогеографические обстановки формирования которых реконструированы к настоящему времени классическими методами с весьма большой детальностью, а данные по современной геохимии в опубликованных работах практически отсутствуют.

Методы и подходы

В соответствии с представлениями [9] все современные реки могут быть отнесены к нескольким типам/категориям: 1) «крупные реки» (World's major rivers, Амазонка, Конго, Миссисипи, Янцзы, Волга, Меконг, Дон, Сев. Двина и др.), т.е. реки с площадью сложно построенного водосборного бассейна более 100 000 км²; 2) реки, дренирующие водосборы, сложенные в основном

осадочными образованиями (rivers draining «mixed/sedimentary» formations, Сена, Шеннон, Блекуотер и др.), площадь водосборного бассейна их составляет менее 100 000 км²; 3) реки, питающиеся продуктами размыва «магматических/метаморфических» террейнов (rivers draining «igneous/metamorphic» terranes, реки Фенноскандии, Гайаны, Армориканского массива и др.); 4) реки, дренирующие современные и древние вулканические провинции (rivers draining «volcanic» rocks, п-ов Камчатка, Новая Зеландия, о-в Реюньон, Северная Ирландия и др.).

Выполненный нами [5] анализ данных по распределению редкоземельных элементов (РЗЭ) в донных осадках устьевых зон рек указанных выше типов/категорий показал, что сходство и различие РЗЭ- и Th-систематики их донных осадков и взвеси хорошо выражено на таких диаграммах, как $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$, $(La/Yb)_N - Th$ и др. На них поля крупных рек (тип/категория 1) и рек, дренирующих осадочные образования, (тип/категория 2) характеризуются существенным перекрытием, а поля рек, получающих взвешенный материал за счет размыва водосборов, сложенных магматическими и метаморфическими образованиями (тип 3) или вулканическими породами (категория 4), перекрытия не имеют вовсе.

Палеогеография Западно-Сибирского мегабассейна в юре — начале мела и источники сноса кластики

Известно, что ранняя юра (плинсбах — начало аалена, время формирования отложений шеркалинской свиты) на рассматриваемой нами территории — это время накопления как морских, так и континентальных отложений (здесь и далее при характеристике палеогеографических обстановок мы в основном оперируем данными, приведенными в монографии [1 и ссылки в этой работе]). Последние представляли как дельтовые, так и озерно-аллювиальные, временами заболочивавшиеся, обстановки. На значительной части Западной Сибири в это время преобладали денудационно-аккумулятивные и денудационные равнины, а также плато и нагорья [2 и др.]. Обломочный материал в бассейн приносился главным образом реками. Считается, что речная сеть, сформированная в ранней юре, существовала и в среднеюрское время. В средней юре (байос и бат, время накопления отложений тюменской свиты) палеогеографические и тектонические обстановки аалена в основном сохраняются [1, 6 и др.].

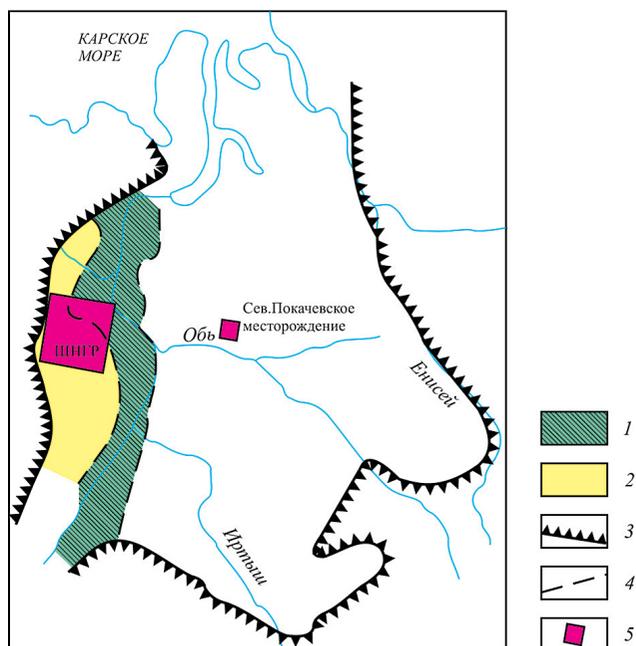


Рис. 1. Обзорная схема районов исследований, по [1] с некоторыми упрощениями: 1 — Фроловская нефтегазоносная область; 2 — Приуральская нефтегазоносная область; 3 — граница Западно-Сибирского мегабассейна; 4 — границы между нефтегазоносными областями; 5 — районы исследования. ШНГР — Шаймский нефтегазоносный район

Fig. 1. Overview scheme of research areas, according to [1] with some simplifications: 1 — Frolovsky oil and gas area; 2 — CisUral oil and gas area; 3 — the border of the West Siberian megabasin; 4 — borders between oil and gas areas; 5 — study areas. ШНГР — Shaimsky oil and gas region

В позднем бате — раннем келловее происходит крупная морская трансгрессия. Келловей, оксфорд и кимеридж — это время накопления прибрежно- и мелководно-морских, а также относительно глубоководных осадков абалакской свиты и ее аналогов. Территория Шаймского НГР представляла в названную эпоху архипелаг различных по размеру островов и подводных возвышенностей, окруженных подводными депрессиями [1 и ссылки там]. Считается, что основными источниками сноса для эпиконтинентального морского бассейна конца средней юры выступали Алтае-Саянская область, Енисейский кряж, запад Сибирской платформы, северные районы Казахстана, возможно Пай-Хой, а также Полярный и Приполярный Урал. Второстепенными же источниками были, скорее всего, Таймыр, северо-западная часть Сибирской платформы и Средний Урал.

Главным источником тонкого обломочного материала в конце юры являлась пенебленезированная Сибирская суша. Урал заметного влияния на формирование отложений баженовской свиты и ее аналогов, по всей видимости, не оказывал. Снос с юга (район современного Казахстана) был также незначителен.

В начале мела (берриас) Урал продолжал быть низкой сушей, что не способствовало поступлению в бассейн заметного количества кластики. В валанжинском веке источниками обломочного материала являлись Северо-Енисейский кряж, Колывань-Томская дуга, растет снос с Таймыра и севера Сибирской платформы. В готериве основными источниками кластики были Восточные Саяны, север Сибирской платформы и Таймыр. Предполагается, что в это время «оживляется» снос обломочного материала с Урала. В барреме продолжался снос с севера Сибирской платформы, Туруханского выступа и Енисейского кряжа, нарастает снос материала с Урала.

Объекты исследования

В разрезе Шаимского нефтегазоносного района, расположенного на западе Западно-Сибирского осадочного мегабассейна, тонкозернистые

обломочные/глинистые породы слагают преимущественно верхний отдел юры (мулымьинская и абалакская свиты) и радомскую пачку. Последняя разделяет нижнеюрскую шеркалинскую и среднеюрскую тюменскую свиты [4 и др.]. В разрезах шеркалинской и тюменской свит аргиллиты чередуются с песчаниками и алевролитами.

Для анализа особенностей распределения в породах юры Шаимского НГР лантаноидов и Th (по данным ИСП МС метода, ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург) нами использовано более 50 образцов аргиллитов и мелкозернистых глинистых алевролитов шеркалинской, тюменской и абалакской свит, отобранных из керна скважин Тальниковая 10320, Ловинская 10628 и Западно-Тугровская 23 Ю.Н. Федоровым и В.П. Алексеевым. Основные литогеохимические характеристики пород указанной выборки рассмотрены ранее в публикации [4].

Широтное Приобье (район Северо-Покачевского месторождения, 110 км к северо-западу от г. Нижневартовск). Для данного объекта нами [7] ранее были рассмотрены литогеохимические особенности терригенных пород юры — нижнего мела, вскрытых на Юккунском, Северо-Покачевском и Нивагальском участках скважинами

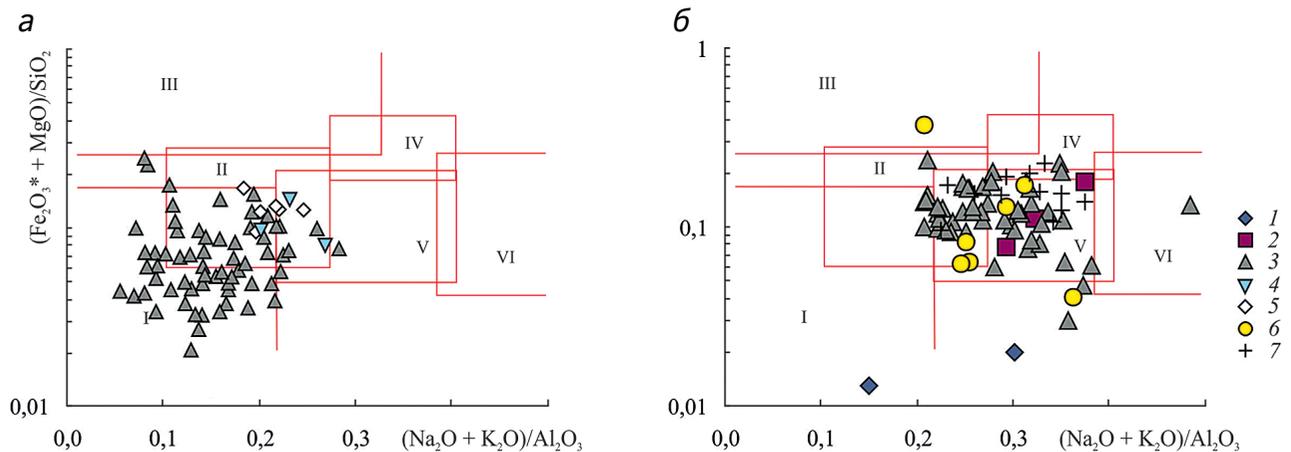


Рис. 2. Положение точек состава тонкозернистых обломочных пород Шаимского НГР (а) и окрестностей Северо-Покачевского месторождения (б) на диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; свиты и пачки: 1 — шеркалинская; 2 — радомская; 3 — тюменская; 4 — переходная между тюменской и абалакской свитами; 5 — абалакская; 6 — баженовская; 7 — нижний мел. Поля глин: I — преимущественно каолинитовых; II — преимущественно смектитовых с примесью каолинита и гидрослюд; III — преимущественно хлоритовых с примесью Fe-гидрослюд; IV — хлорит-гидрослюдистых; V — хлорит-смектит-гидрослюдистых; VI — гидрослюдистых с существенной примесью дисперсных полевых шпатов

Fig. 2. The location of the data points of the fine-grained clastic rocks of the Shaim OGR (a) and the vicinity of the Severo-Pokachevsky deposit (b) in the diagram $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; formations and packets: 1 — Sherkala; 2 — Radom; 3 — Tyumen; 4 — transitional packet between the Tyumen and Abalak formations; 5 — Abalak; 6 — Bazhenovo; 7 — Lower Cretaceous. Clay fields: I — predominantly kaolinite; II — mainly smectite mixed with kaolinite and hydromica; III — mainly chlorite mixed with Fe-hydromica; IV — chlorite-hydromica; V — chlorite-smectite-hydromica; VI — hydromica with a significant admixture of dispersed feldspars

НГ210, СП215, СП221 и СП224. Полученные при этом данные о распределении в глинистых породах шеркалинской, тюменской и баженовской свит, радомской пачки и нижнемеловых отложениях (всего ~50 образцов, отобранных В.П. Алексеевым и проанализированных методом ИСП МС в ИГГ УрО РАН) лантаноидов и Th также использованы при построении диаграмм $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ и $(La/Yb)_N - Th$, дающих возможность сделать выводы относительно типов/категорий рек, поставивших тонкозернистый обломочный материал в области осадконакопления.

Результаты исследований

На классификационной диаграмме $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ (диаграмма НКМ-ФМ, [8]) точки составов глинистых пород тюменской и шеркалинской свит Шаимского НГР локализованы в основном в областях I (глинистые породы, в которых доминирует каолинит), II (породы с преобладанием смектита и подчиненным

количеством каолинита и гидрослюд) и V (глинистые породы, состоящие из хлорита, смектита и гидрослюд), тогда как аргиллиты абалакской свиты расположены в области V (рис. 2а). Такой состав тонкозернистых обломочных пород не противоречит представлениям о накоплении их в континентальных и отчасти морских обстановках. На этой же диаграмме точки состава тонкозернистых обломочных/глинистых пород юры и нижнего мела окрестностей Северо-Покачевского месторождения в основном сосредоточены в областях V (хлорит — смектит — гидрослюдистые глины) и VI (гидрослюдистые глины со значительной примесью дисперсных полевых шпатов) (рис. 2б). Каким бы ни были существенные вариации состава глинистых пород по разным интервалам сводного разреза при этом не наблюдаются; в целом же состав глинистых пород данного района позволяет думать о большей, по сравнению с Шаимским НГР, роли в накоплении осадков прибрежно- и мелководно-морских обстановок.

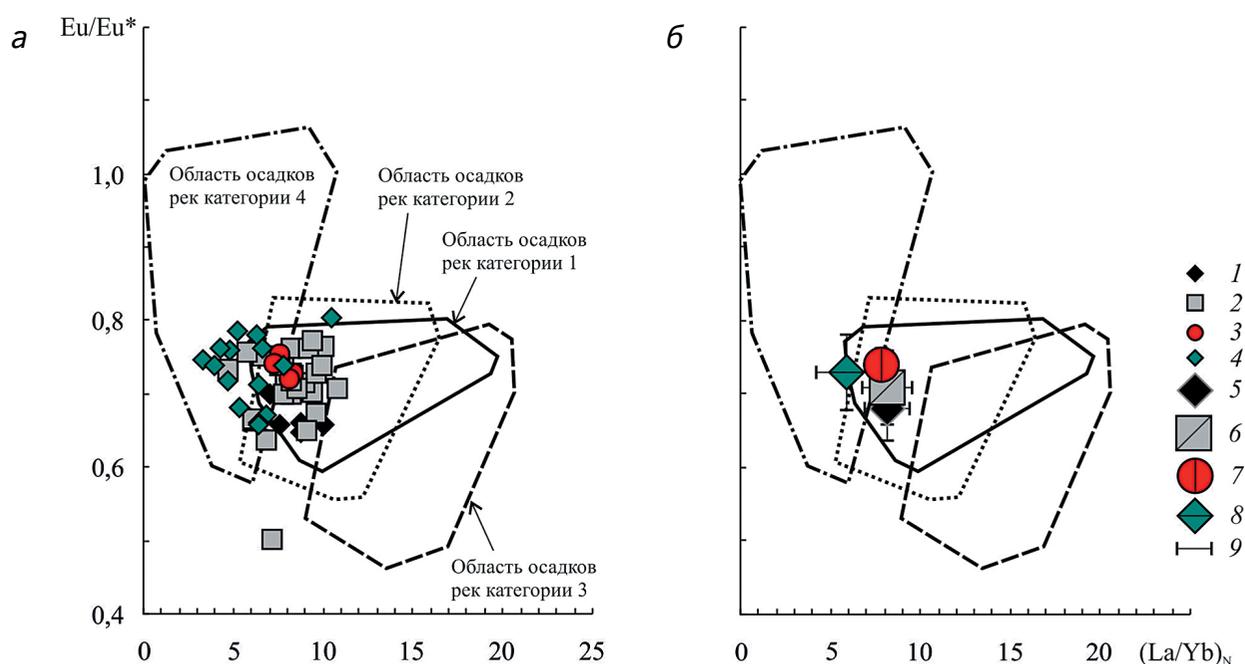


Рис. 3. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава тонкозернистых обломочных пород Шаимского НГР на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$: 1–4 — индивидуальные точки (1 — шеркалинская свита, нижняя юра, 2 — тюменская свита, средняя юра, 3 — переходная пачка между тюменской и абалакской свитами, 4 — абалакская свита, верхняя юра); 5–8 — средние точки (5 — шеркалинская свита, 6 — тюменская свита, 7 — переходная пачка между тюменской и абалакской свитами, 8 — абалакская свита); 9 — величины стандартных отклонений

Fig. 3. The position of the individual (a) and average (b) data points of the fine-grained clastic rocks of the Shaim NGR in the $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ diagram: 1–4 — individual data points (1 — Sherkala Formation, Lower Jurassic, 2 — Tyumen Formation, Middle Jurassic, 3 — transitional packet between the Tyumen and Abalak formations, 4 — Abalak Formation, Upper Jurassic); 5–8 — average data points (5 — Sherkala Formation, 6 — Tyumen Formation, 7 — transitional packet between the Tyumen and Abalak formations, 8 — Abalak Formation); 9 — values of standard deviations

Индивидуальные точки состава тонкозернистых обломочных пород шеркалинской и тюменской свит, а также переходной между тюменской и абалакской свитами пачки Шаимского НГР на диаграмме $(La/Yb)_N$ -Eu/Eu* сосредоточены в основном в зоне перекрытия областей донных осадков современных рек категорий 1 и 2 (рис. 3а). Точки глинистых пород абалакской свиты в основном присутствуют в области современных донных осадков рек типа/категории 4. Описанные особенности достаточно наглядно проявлены на данном графике и для средних точек глинистых пород всех перечисленных свит (рис. 3б). Распределение индивидуальных и средних точек состава тонкозернистых пород юры Шаимского НГР на графике $(La/Yb)_N$ -Th (рис. 4а, б) подтверждает этот вывод.

На диаграмме $(La/Yb)_N$ -Eu/Eu* (рис. 5а) практически все индивидуальные точки тонкозернистых обломочных пород юры и нижнего мела окрестностей Северо-Покачевского месторождения локализованы в области составов донных осадков современных рек типа/категории 4, или располагаются несколько выше нее, так как часть образцов характеризуется значениями $Eu/Eu^* > 1,1$. Средние точки глинистых пород,

участвующих в сложении пластов ЮВ₅, ЮВ₂, ЮВ₂⁰ и баженовской свиты, также характеризуются относительно невысокими величинами $(La/Yb)_N$, тогда как средние значения Eu/Eu^* в них варьируют от 0,85 до 1,25 (рис. 5б).

Индивидуальные точки глинистых пород юры и нижнего мела района Северо-Покачевского месторождения на диаграмме $(La/Yb)_N$ -Th (рис. 6а) расположены как в области 4, так в областях 1 и 2; довольно существенная часть их присутствует также в зоне перекрытия всех трех названных областей. Средняя точка аргиллитов баженовской свиты локализована в области 4, тогда как средние точки тонкозернистых обломочных пород из пластов ЮВ₅, ЮВ₂ и ЮВ₂⁰ расположены в зоне перекрытия областей 1, 2 и 4 (рис. 6б).

Выводы

Таким образом, на основе полученных результатов можно предполагать, что при формировании отложений Шаимского НГР в ранней и средней юре размыв затрагивал либо преимущественно осадочные образования, либо весьма пестрые по составу слагавших их пород палеоводосборы (типы рек 1 или 1+2), тогда как в поздней юре

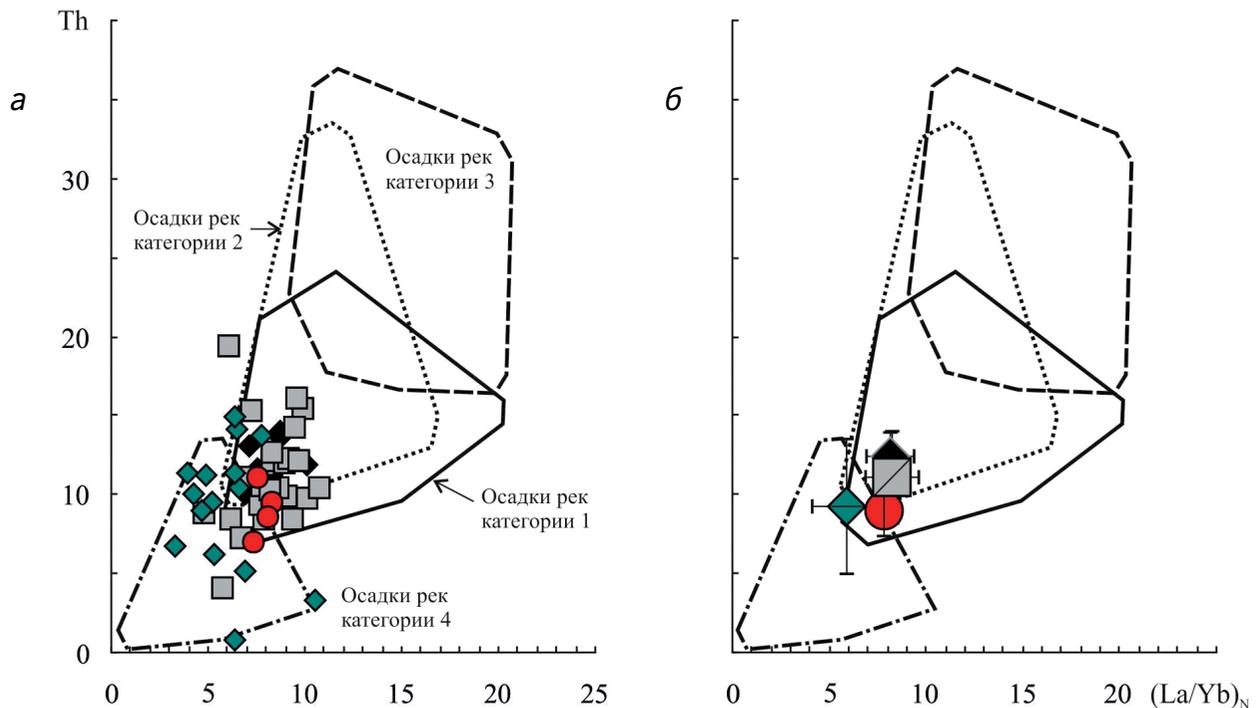


Рис. 4. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава тонкозернистых обломочных пород Шаимского НГР на диаграмме $(La/Yb)_N$ -Th: усл. обознач. см. рис. 3

Fig. 4. The position of the individual (a) and average (b) data points of the fine-grained clastic rocks of the Shaim NGR in the $(La/Yb)_N$ -Th diagram: legend see Fig. 3

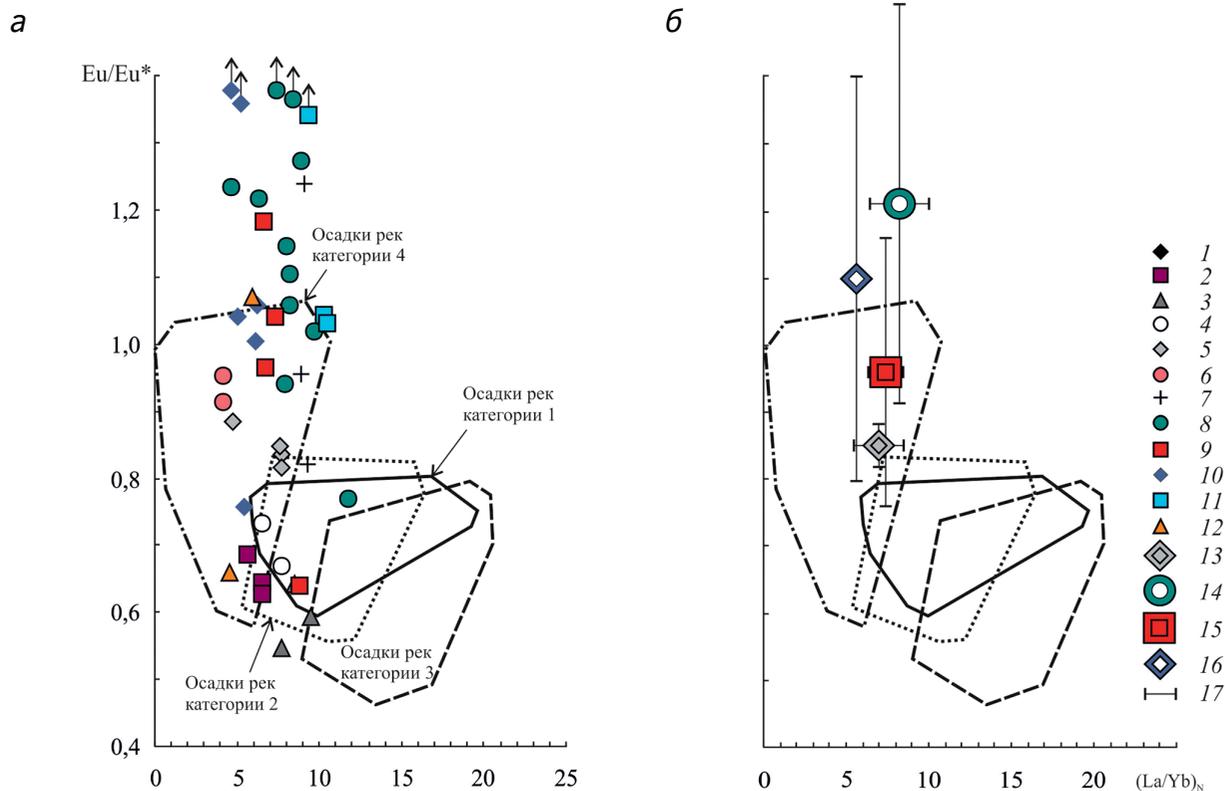


Рис. 5. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава тонкозернистых обломочных пород окрестностей Северо-Покачевского месторождения на диаграмме $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$: свиты, пачки, пласты: 1–12 — индивидуальные точки (1 — шеркалинская свита, 2 — радомская пачка, 3 — пласт ЮВ₇, 4 — пласт ЮВ₆, 5 — пласт ЮВ₅, 6 — пласт ЮВ₄, 7 — пласт ЮВ₃, 8 — пласт ЮВ₂, 9 — пласт ЮВ₂⁰, 10 — баженовская свита, 11 — пласт БВ₆₋₇, 12 — нижний мел); 13–16 — средние точки (13 — пласт ЮВ₅, 14 — пласт ЮВ₂, 15 — пласт ЮВ₂⁰, 16 — баженовская свита); 17 — величины стандартных отклонений

Fig. 5. The position of individual (a) and average (b) data points of fine-grained clastic rocks in the vicinity of the Severo-Pokachevsky deposit in the $(La/Yb)_N - Eu/Eu^*$ diagram: formations, packets, strata: 1–12 — individual data points (1 — Sherkala Formation, 2 — Radom packet, 3 — stratum UV₇, 4 — stratum UV₆, 5 — stratum UV₅, 6 — stratum UV₄, 7 — stratum UV₃, 8 — stratum UV₂, 9 — stratum UV₂⁰, 10 — Bazhenovo Formation, 11 — stratum BV₆₋₇, 12 — Lower Cretaceous); 13–16 — average data points (13 — stratum UV₅, 14 — stratum UV₂, 15 — stratum UV₂⁰, 16 — Bazhenovo Formation); 17 — values of standard deviations

областью сноса выступала некая вулканическая провинция, сложенная преимущественно магматическими/вулканическими породами основного состава [4] (тип рек 4). С учетом близости Шаимского НГР к Уралу можно думать, что именно последний и был источником такого материала. Такой вывод позволяет считать, что снос обломочного материала с Урала в Приуральскую часть Западно-Сибирского бассейна «оживляется» заметно ранее гоетерива. Напротив, для всего юрско-нижнемелового разреза окрестностей Северо-Покачевского месторождения источником тонкой алюмосиликокластики выступала,

в отличие от Шаимского НГР, вулканическая провинция (тип рек, привносивших тонкую кластику, — 4). С учетом приведенных выше данных для Приуральской области этой провинцией был, скорее всего, не Урал, а, как это следует из ранее выполненных палеогеографических реконструкций, Алтае-Саянская область или Северный Казахстан. Представленные в данной работе подход и результаты — эскиз того, что можно сделать при планомерных геохимических исследованиях различных районов Западно-Сибирского мегабассейна, но для этого нужны, конечно, совершенно другие силы и средства.

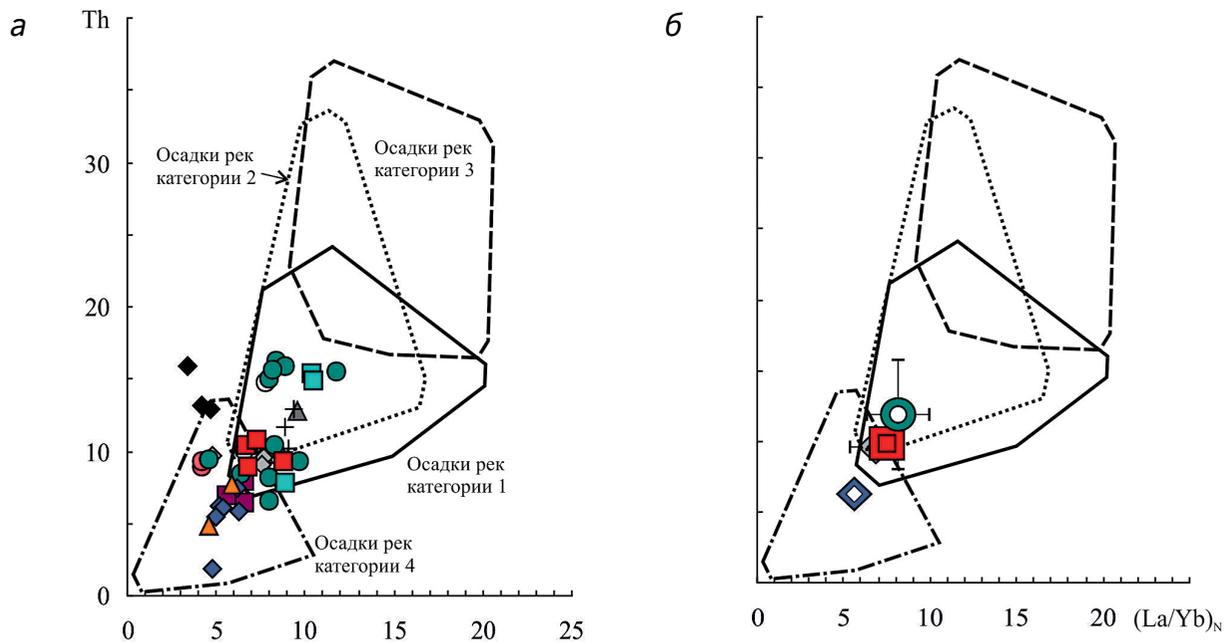


Рис. 6. Положение индивидуальных (а) и средних (б) точек состава тонкозернистых обломочных пород окрестностей Северо-Покачевского месторождения на диаграмме $(La/Yb)_N$ -Th: усл. обознач. см. рис. 5
Fig. 6. The position of the individual (a) and average (b) data points of fine-grained clastic rocks in the vicinity of the Severo-Pokachevsky deposit in the $(La/Yb)_N$ -Th diagram: legend see on Fig. 5

ЛИТЕРАТУРА

1. Амон Э.О., Алексеев В.П., Глебов А.Ф., Савенко В.А., Федоров Ю.Н. Стратиграфия и палеогеография мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 257 с.
2. Атлас и объяснительная записка к Атласу литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1:5 000 000. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1976. 85 с.
3. Маслов А.В. К реконструкции категорий рек, сформировавших выполнение осадочных бассейнов рифея в области сочленения Восточно-Европейской платформы и современного Южного Урала // Изв. вузов. Геология и разведка. 2019. № 5. С. 28—36.
4. Маслов А.В., Алексеев В.П. Особенности химического состава и РЗЭ-Th-Sc-систематика тонкозернистых терригенных пород нижнего мезозоя Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 2. С. 21—30.
5. Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики // Геохимия. 2019. Т. 64. № 1. С. 59—78.
6. Мясникова Г.П., Мухер А.Г., Девятов В.П. Палеогеография и динамика осадконакопления юры Западной Сибири // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Саратов: Издательский центр «Наука», 2009. С. 153—155.
7. Федоров Ю.Н., Маслов А.В. Литогеохимические особенности терригенных пород средней юры — нижнего мела Широкого Приобья и некоторые следствия // Изв. вузов. Геология и разведка. 2011. № 5. С. 26—33.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
9. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited // Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. V. 170. P. 17—38.
10. Lentz D.R. (Ed.) Inorganic Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. Geol. Ass. Canada. GeoText 4, 2003. 184 p.
11. Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312 p.

REFERENCES

1. Amon E.O., Alekseev V.P., Glebov A.F., Savenko V.A., Fedorov Yu.N. Stratigraphy and paleogeography of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover of the Shaim oil and gas region (Western Siberia). Yekaterinburg: Publishing House of the Ural State Mining University, 2010. 257 p. (In Russian).
2. Atlas and explanatory note to the Atlas of lithological and paleogeographic maps of the Jurassic and Cretaceous periods of the West Siberian Plain on a scale of 1: 5,000,000. Tyumen: ZapSibNIGNI, 1976. 85 p. (In Russian).
3. Maslov A.V. To reconstruction of the river's categories which formed riphean sedimentary basins in the region of the Eastern European Platform and modern South Urals juncture. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2019. No 5. P. 28—36 (In Russian).
4. Maslov A.V., Alekseev V.P. Features of the chemical composition and REE-Th-Sc-systematics of fine-grained terrigenous rocks of the Lower Mesozoic of the Shaim oil and gas region (Western Siberia). Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2007. No 2. P. 21—30 (In Russian).
5. Maslov A.V., Shevchenko V.P. REE-Th systematics of the suspended particulate matter and bottom sediments from the mouth zones of the world rivers of different categories/classes and some large Russian Arctic rivers. Geochim. Int. 2019. Vol. 57, No. 1. P. 56—73.
6. Myasnikova G.P., Mukher A.G., Devyatov V.P. Paleogeography and sedimentation dynamics of the Jurassic of Western Siberia. Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography. Saratov: Publishing Center "Nauka", 2009. P. 153—155 (In Russian).
7. Fedorov Yu.N., Maslov A.V. Lithochemical features of terrigenous rocks of the Middle Jurassic–Lower Cretaceous of the Latitudinal PriOb'e and some consequences. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2011. No 5. P. 26—33 (In Russian).
8. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. The basics of lithochemistry. St. Petersburg: Nauka, 2000. 479 p. (In Russian).
9. Bayon G., Toucanne S., Skonieczny C., Andre L., Bermell S., Cheron S., Dennielou B., Etoubleau J., Freslon N., Gauchery T., Germain Y., Jorry S.J., Menot G., Monin L., Ponzevera E., Rouget M.-L., Tachikawa K., Barrat J.A. Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. Geochim. Cosmochim. Acta. 2015. Vol. 170. P. 17—38.
10. Lentz D.R. (ed.) Inorganic Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments. Geol. Ass. Canada. GeoText 4. 2003. 184 p.
11. Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Маслов А.В. — подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Andrey V. Maslov — prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Маслов Андрей Викторович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент РАН. Главный научный сотрудник Института геологии и геохимии Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург) и Геологического института РАН (г. Москва). Специалист в области литологии и геохимии осадочных пород.
15, Вонсовского ул., г. Екатеринбург 620016, Россия
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия
e-mail: amas2004@mail.ru
SPIN-код: 3804-7185
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4902-5789>

Andrey V. Maslov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences. Chief Researcher of the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg) and the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow). Specialist in the field of lithology and geochemistry of sedimentary rocks.
15, Vonsovskogo str., Yekaterinburg 620016, Russia
7, Pyzhevsky lane, Moscow 19017, Russia
e-mail: amas2004@mail.ru
SPIN: 3804-7185
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4902-5789>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



МЕТАСОМАТИТЫ И РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ СЕВЕРНОГО ФЛАНГА БАИМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)

А.В. ЮСУПОВА*, И.А. БАКШЕЕВ, Н.Н. КОШЛЯКОВА

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119234, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. В последние годы появился ряд публикаций, в которых описываются месторождения и проявления Баимской рудной зоны, Чукотский АО. Нужно отметить, что практически все публикации посвящены крупному золото-молибден-медно-порфировому месторождению Песчанка и рудному полю Находка. В то же время на флангах зоны обнаружен ряд проявлений медной минерализации, природа которых не вполне ясна. Данных о минеральном составе метасоматитов и руд этих проявлений, которые могли внести ясность, в литературе нет. К таковым объектам относятся проявления Топь и Лучик, расположенные на северном фланге Баимской зоны. Для того чтобы понять природу этих проявлений, мы провели детальное минералогическое изучение слагающих их метасоматических пород и руд.

Цель — характеристика особенностей минералогии метасоматитов и руд проявлений Топь и Лучик в северной части Баимской зоны, Западная Чукотка.

Материалы и методы. Авторами изучено несколько десятков прозрачно-полированных шлифов. Оптические исследования проводились на кафедре минералогии МГУ с помощью оптического микроскопа. Электронно-микроскопические исследования минералов и определение их химического состава проводились в Лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ.

Результаты. Изучены минеральный и химический состав минералов метасоматитов и руд проявлений Топь и Лучик, расположенных на северном фланге Баимской рудной зоны на западе Чукотки и включающих крупное Au-Mo-Cu порфировое месторождение Песчанка. Установлено, что основным типом метасоматитов проявлений являются пропилиты. Метасоматиты рассеяны кварцевыми и карбонат-кварцевыми прожилками с рудными минералами, главными из которых являются пирит и халькопирит. Кроме того, выявлены галенит, сфалерит, арсенопирит с повышенным содержанием Sb, марказит, Hg-содержащий тетраэдрит-(Zn), самородное золото с пробностью ~830, петцит, гессит, акантит.

Заключение. Полученные данные о минералогии руд и составе рудных минералов позволяют отнести описанные проявления к эпитермальным IS типа. Учитывая развитие эпитермальной минерализации в верхней части гидротермальной колонны и наличие в Баимской зоне оруденения порфирового типа, на проявлениях Топь и Лучик возможно появление порфировой минерализации на глубине.

Ключевые слова: эпитермальные проявления, Баимская рудная зона, Чукотка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Юсупова А.В., Бакшеев И.А., Кошлякова Н.Н. Метасоматиты и рудная минерализация проявлений северного фланга Баимской рудной зоны (Западная Чукотка). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):62—72. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-62-72>

Статья поступила в редакцию 24.09.2020
Принята к публикации 06.04.2020
Опубликована 31.05.2021

* Автор, ответственный за переписку

HYDROTHERMAL ALTERATION AND MINERALIZATION AT THE PROSPECTS OF THE NORTHERN FLANK OF THE BAIMKA ORE ZONE, WESTERN CHUKOTKA

ALENA YUSUPOVA*, IVAN BAKSHEEV, NATALYA KOSHYAKOVA

*Lomonosov Moscow State University
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow 119234, Russia*

ABSTRACT

Background. Some papers describing the deposits and prospects in the Baimka ore zone (Baimka Trend), the Chukotka Autonomous Region have been recently published. It should be noted that those publications concern with the large Peschanka porphyry copper-molybdenum-gold deposit and Nakhodka ore field. At the same time, some copper prospects were found at the zone flanks and their nature is not clear. There are no data available in the literature that would clarify the mineralogy of hydrothermal alteration and ores at those prospects, including Top and Luchik located at the northern flank. To understand the nature of these prospects, we studied in depth mineralogy of hydrothermal alteration and ores.

Aim. This study aims to describe mineralogy of metasomatic rocks and ores from the Top and Luchik prospects in the northern part of the Baimka zone, Western Chukotka.

Materials and methods. Several dozen polished thin sections were microscopic studied at the Department of Mineralogy of Moscow State University using an optical microscope. The chemical composition of minerals was determined using electron microprobe at the Laboratory of Analytical Techniques of High Spatial Resolution, Department of Petrology and Volcanology, Moscow State University.

Results. It was found that propylitic is the major hydrothermal alteration at the prospects studied here. Metasomatic rocks are cut by mineralized quartz and carbonate-quartz veins. Chalcopyrite and pyrite are the major ore minerals; galena, sphalerite, pyrite enriched in As and Sb, and marcasite are minor; Hg-bearing tetrahedrite-(Zn), native gold with the fineness of ~830, petzite, hessite, and acanthite are rare.

Conclusions. The data obtained suggest that mineralization at the Top and Luchik prospect is attributed to the epithermal intermediate sulfidation type. Considering the occurrence of the epithermal mineralization in the upper part of the hydrothermal column and the porphyry mineralization in the Baimka zone, the porphyry mineralization is possible at depth at the Top and Luchik prospects.

Keywords: epithermal prospects, Baimka ore zone, Chukotka

Conflict of interests. the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. no financial support was provided for this study.

For citation: Yusupova A.V., Baksheev I. A., Koshyakova N.N. Hydrothermal alteration and mineralization of the prospects at the northern flank of the Baimka ore zone, Western Chukotka. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2020;63(4):62—72. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-62-72>

*Manuscript received 24 September 2020
Accepted 06 April 2020
Published 31 May 2021*

* Corresponding author

Введение

Одним из основных источников меди являются месторождения медно-порфирового типа, которые связаны с порфировыми интрузивами кремнекислого состава нормального и субщелочного ряда. Штокверковые медные руды этих объектов сосредоточены в эндо-экзоконтактовых зонах гипабиссальных и субвулканических порфировых интрузивов (штоков, даек). Более поздними являются карбонат-полиметаллические (субэпитермальные) жилы и прожилки. Считается, что процесс формирования порфировых систем завершается образованием эпитермальных (относительно низкотемпературных) жильно-прожилковых Au-Cu “high sulfidation” (HS) и Au-Ag “intermediate sulfidation” (IS) руд [23].

Метасоматиты порфировых систем образуются последовательно и размещены зонально. Согласно работам [4, 23] метасоматическую зональность можно представить в следующем виде. Внутренняя зона сложена биотит-калишпат-кварцевыми породами, далее следует промежуточная зона кварц-серицитовых пород и внешняя зона пропилитов. В самой верхней части системы развита зона аргиллизации до вторичных кварцитов.

В последние годы появился ряд публикаций, в которых описываются месторождения и проявления Баимской рудной зоны [5, 6, 8], расположенной в 250 км к югу от г. Билибино, Чукотский АО, и вытянутой в субмеридиональном направлении на 80 км. Нужно отметить, что практически все публикации посвящены крупному золото-молибден-медно-порфировому месторождению Песчанка и рудному полю Находка. Последнее включает ряд проявлений порфирового типа и эпитермальное Au-Ag месторождение Весеннее [6]. В то же время на флангах зоны обнаружен ряд проявлений медной минерализации, природа которых не вполне ясна. Данных о минеральном составе метасоматитов и руд этих проявлений, которые могли внести ясность, в литературе нет. К таковым объектам относятся проявления Топь и Лучик, расположенные на северном фланге Баимской зоны.

Для того чтобы понять природу этих проявлений, мы провели детальное минералогическое изучение слагающих их метасоматических пород и руд.

Краткая геологическая характеристика проявлений

Проявления Топь и Лучик расположены на северном фланге Баимской рудной зоны в 15 и 25 км от крупного золото-молибден-медно-порфирового месторождения Песчанка.

Проявление Топь в геологическом отношении приурочено к западным эндо- и экзоконтактам Егдэгкычского массива, представленному в этой части габброидами позднеюрского баимского и монцонитами раннемелового егдэгкычского комплексов. Вмещающими массив породами являются вулканиты волжского яруса и отложения раннемеловой айнахургенской свиты.

Метасоматиты, преимущественно пропициты, развиты по габброидам и образуют небольшие прожилки и линзы, в которых зачастую встречаются гнезда и тонкие трещины, выполненные эпидотом. Рудная минерализация связана с зоной дробления в окварцованных габброидах. Она представлена кварц-сульфидными (халькопирит, пирит) и кварц-карбонат-сульфидными (галенит, сфалерит, халькопирит) прожилками мощностью от нескольких до 10—20 сантиметров, имеющими северо-восточное простирание.

Проявление Лучик приурочено к участкам развития вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород волжского яруса, которые интродуцированы позднеюрскими габброидами баимского комплекса и диоритовыми порфиритами и монцонитоидами позднеюрского-раннемелового весеннинского комплекса. Интрузивные породы образуют блок неправильной формы.

Метасоматиты, представленные пропицитами и кварц-карбонат-хлоритовыми с редким мусковитом породами, слагают зоны мощностью до нескольких десятков метров. Рудная минерализация представлена кварц-сульфидными прожилками мощностью до 10 см, которые образуют линейный штокверк и пересекают кварц-карбонат-хлоритовые породы. Главными рудными минералами сульфидных прожилков являются халькопирит и пирит. Наиболее поздней составляющей прожилков является аметистовидный кварц.

Методы исследования

Оптические исследования проводились на кафедре минералогии МГУ с помощью оптического микроскопа AxioPlan фирмы Zeiss, снабженного цифровой камерой и компьютером.

Электронно-микроскопические исследования минералов и определение их химического состава проводились в Лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV с энергодисперсионным INCA-Energy 350 и волновым INCA Wave-500 спектрометрами, аналитик Н.Н. Кошлякова. Изображения в отраженных

электронах получены при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока ~2 нА. Состав минералов изучался с помощью ЭДС-спектрометра при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока $2,00 \pm 0,05$ нА. При анализе силикатных фаз в качестве стандартов использовались стехиометрические оксиды и силикаты с известным составом. При анализе рудных минералов использованы эталоны природных и синтетических сульфидов и теллуридов. Процедура коррекции осуществлялась по методу XPP коррекции (INCA, версия 17a, Oxford Instrument).

Формулы амфиболов рассчитаны на 13 катионов, за исключением Na, K и Ca. Расчет формул хлоритов проведен на 10 катионов. Формулы эпидота рассчитаны на основе 8 катионов. Расчет формулы мусковита произведен на 22 отрицательных заряда. Количество H_2O для хлорита, амфиболов, эпидота и мусковита рассчитано по стехиометрии. Содержание Fe^{2+} и Fe^{3+} для амфибола и эпидота рассчитывали по балансу зарядов. Формулы сульфидных минералов рассчитывались на сумму всех атомов.

Результаты

Пропилиты обоих проявлений — это средне-мелкозернистые породы от светло-до темно-зеленых, сложенные амфиболом, хлоритом, калиевым полевым шпатом, альбитом, эпидотом, кальцитом, акцессорные минералы — титанитом и магнетитом. При микроскопических наблюдениях видно, что гидротермальный магнетит

не содержит ламелей распада ильменита, в отличие от титаномagnetита исходных магматических пород. Оптические и электронно-микроскопические исследования свидетельствуют, что пропилиты рассечены тонкими прожилками с кальцитом, хлоритом, пренитом и цеолитами.

Амфиболы представлены ксеноморфными зернами размером до 10 мкм и по тонким трещинам замещают кристаллы первично магматических магнезиогастингсита, эденита, диопсида и авгита. Кроме того, амфиболы совместно с кварцем, эпидотом, апатитом и гематитом образуют тонкие прожилки. Размер кристаллов амфибола в этих прожилках достигает 100 мкм и выше. Гидротермальные амфиболы по химическому составу относятся к магнезиогорнблендиту, тремолиту и актинолиту (рис. 1). При этом магнезиогорнблендит замещается тремолитом и актинолитом. Средний химический состав магнезиогорнблендита метасоматитов обоих проявлений ($n = 17$, масс.%): $49,20\text{—}52,62 SiO_2$, $0,01\text{—}0,99 TiO_2$, $3,38\text{—}6,63 Al_2O_3$, $11,73\text{—}18,04 MgO$, $9,17\text{—}14,48 FeO_{общ.}$, $0,06\text{—}0,67 MnO$, $11,59\text{—}12,50 CaO$, $0,15\text{—}0,35 K_2O$, $0,29\text{—}1,27 Na_2O$, $2,03\text{—}2,12 H_2O_{расч.}$, сумма $95,82\text{—}99,30$; формула минерала $Na_{0,045\text{—}0,162} K_{0,005\text{—}0,046} Ca_{1,823\text{—}2,008} (Mg_{3,154\text{—}3,758} Fe_{1,093\text{—}1,756} Ti_{0\text{—}0,029} Mn_{0\text{—}0,104})_{5,000} [Si_{7,525\text{—}7,797} Al_{0,236\text{—}0,531} O_{22}] (OH)_{2,000}$. Магнезиальность $[Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ варьирует от 0,67 до 0,92. Средний химический состав амфибола тремолит-актинолитового ряда ($n = 17$, масс. %): $52,45\text{—}52,62 SiO_2$, $0\text{—}0,25 TiO_2$, $1,37\text{—}3,31 Al_2O_3$, $14,43\text{—}18,15 MgO$, $9,12\text{—}13,67 FeO_{общ.}$,

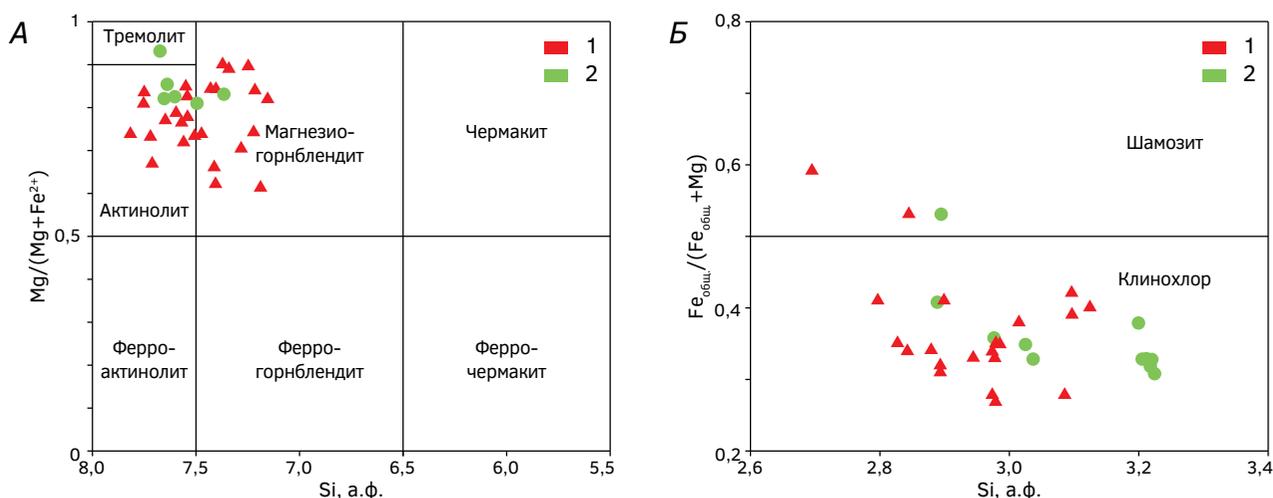


Рис. 1. Классификационные диаграммы (А) амфиболов [19, 20] и (Б) хлоритов [12] пропилитов проявлений Топь и Лучик. 1 — проявление Топь, 2 — проявление Лучик

Fig. 1. Classification diagrams for (A) amphiboles [19, 20] and (Б) chlorites from propylitic alteration of the Top and Luchik prospects. 1 — Top, 2 — Luchik

0—0,80 MnO, 12,00—12,66 CaO, 0,06—0,25 K₂O, 0,16—0,61 Na₂O, 2,06—2,19 H₂O_{расч.}, сумма 96,09—100,00; формула минерала $Na_{0,045-0,162}K_{0,005-0,046}Ca_{1,823-2,008}(Mg_{3,154-3,758}Fe_{1,093-1,756}Ti_{0-0,029}Mn_{0-0,104})_5[Si_{7,525-7,797}Al_{0,236-0,531}O_{22}](OH)_{2,000}$. Отношение Mg/(Mg+Fe²⁺) составляет 0,67—0,84.

Эпидот слагает агрегаты как мелких, так и более крупных (до 0,3 мм) зеленоватых зерен. Он образует гнезда и прожилки совместно с карбонатом, хлоритом, кварцем, актинолитом, замещает магматические клинопироксен и плагиоклаз. Наблюдения в электронный микроскоп в режиме высокого контраста выявляют сложную зональность индивидуальных кристаллов эпидота, обусловленную вариациями содержания Fe. Средний химический состав минерала ($n = 11$, масс.%): 37,10—38,05 SiO₂, 0—0,13 TiO₂, 17,33—27,49 Al₂O₃, 8,84—14,28 FeO_{общ.}, 0—0,68 MnO, 22,21—23,46 CaO, 1,89—2,04 H₂O_{расч.}, сумма 96,25—98,81; формула минерала $Ca_{1,823-2,008}Al_{0,943-1,118}(Fe^{3+}_{0,617-0,943}Ti_{0-0,029}Mn_{0-0,104}Al_{1,057-1,383})_2[Si_{1,983-2,005}O_7][Si_{0,930-1,010}O_4]O(OH)$. Железистость эпидота $[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)]$ варьирует от 0,18 до 0,46.

Хлорит представлен агрегатами чешуек разного размера, от нескольких десятков микронов до 2 мм. Он замещает ранее образованный магматический биотит, а также магматические и гидротермальные амфиболы. При замещении биотита в хлорите по спайности наблюдается рутил, представляющий собой ламели распада твердого раствора в биотите, которые сохранились в ходе гидротермального процесса. По химическому составу хлорит отвечает клинохлору (2,824—3,117 Si а.ф.; 0,33—0,41 Fe_{общ.}/(Fe_{общ.}+Mg)) и шамозиту (2,696—2,843 Si а.ф.; 0,53—0,59 Fe_{общ.}/(Fe_{общ.}+Mg)) (рис. 1Б) [12].

Калиевый полевой шпат пропилитов представлен индивидуальными кристаллами, размер которых не превышает нескольких десятков мкм. Минерал слагает гнезда, секущие прожилки совместно с хлоритом, кальцитом, эпидотом. В пропилизированных габброидах прожилки рассекают крупные кристаллы первичного амфибола, при метасоматозе превращенного частично в актинолит. Калишпат не содержит ламелей распада альбита, и его зерна характеризуются неоднородным химическим составом, что обусловлено разной концентрацией Ba, достигающей 3,2 масс.% BaO.

Карбонаты представлены кальцитом и доломитом. Первый образует агрегаты мелких зерен с размером индивидуальных кристаллов до 0,1 мм, а также крупные толстопризматические сдвойникованные кристаллы размером до 1,5 см. Минерал

содержит Mn до 1,14 масс.% Mn. Доломит слагает прожилки мощностью до 1 мм и содержит до 0,9 масс.% MnO.

Мусковит образует агрегаты размером несколько сотен микронов, сложенных мелкими чешуйками. Его средний состав ($n = 2$, масс.%): 47,58—48,70 SiO₂, 0,20—0,35 TiO₂, 34,74—35,25 Al₂O₃, 1,40—1,44 MgO, 1,24—1,60 FeO_{общ.}, 9,29—9,94 K₂O, 0,36—0,37 Na₂O, 4,59—4,60 H₂O_{расч.}, сумма 96,36—96,69; формула минерала $Na_{0,046-0,047}K_{0,772-0,828}(Al_{1,867-1,936}Mg_{0,136-0,146}Fe_{0,068-0,087}Ti_{0,010-0,017})_2[Si_{3,109-3,172}Al_{0,252-0,531}O_{10}](OH)_{2,000}$.

Рудная минерализация

На проявлении Топь макроскопически руды имеют полосчатое строение, выраженное чередованием полос пирита и халькопирита. При микроскопических наблюдениях видно, что пирит брекчирован и цементируется халькопиритом. Главными рудными минералами проявления являются пирит, халькопирит, сфалерит, галенит; к редким относятся молибденит, пирротин, теллуrowисмутит, самородное золото, гессит, петцит, акантит.

Пирит образует крупные выделения размером до нескольких сотен микронов двух типов. Пирит первого типа (пирит I) незональный, по данным электронно-зондового анализа содержит незначительное количество (первые тысячные доли а.ф.) Mn, Co и Ni. Его кристаллы брекчированы и трещины залечены халькопиритом. Пирит второго типа (пирит II) образует идиоморфные кристаллы также размером несколько сотен микронов, в которых отдельные зоны обогащены As до 2,1 масс.%.

Халькопирит цементирует трещиноватые кристаллы пирита и нарастает на последний, образуя выделения размером несколько сотен микронов. По химическому составу халькопирит, цементирующий брекчированный пирит I, и халькопирит крупных выделений идентичны. Минерал содержит примеси, масс.%: до 0,06 Ag, до 0,30 Zn, до 0,15 Ni и до 0,11 Co.

Сфалерит слагает выделения размером первые сотни мкм; он нарастает на халькопирит или выполняет трещины в нем. Минерал содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита и характеризуется низким содержанием Fe (2,56 масс.%), содержание Cu не превышает 1,29 масс.%, концентрация Cd и Mn до 0,67 масс.% и 0,08 масс.% соответственно.

Галенит образует сростания со сфалеритом, слагает вроски в пирите первого типа и выполняет трещины в нем (рис. 2А). Иногда в галените фиксируется примесь Se до 1,88 масс.%.

Пирротин слагает мелкие реликты в пирите I (рис. 2А). По химическому составу это сернистый моноклинный пирротин Fe_7S_8 .

Благороднометаллическая минерализация представлена мелкими вростками гессита и акантита в пирите и халькопирите, самородным золотом (пробность 831—855), которое, по-видимому, образует тонкие сростания с гесситом (рис. 2А), петцитом (рис. 2Б), тонкими выделениями акантита на границе между зернами сфалерита и галенита.

По структурно-текстурным особенностям руды проявления Лучик относятся к прожилково-вкрапленному типу. Рудные минералы обнаруживаются в кварцевых и карбонат-кварцевых прожилках, которые рассекают прожилиты. Мощность одной зоны прожилкования не превышает нескольких метров. Главным рудным минералом прожилков является пирит; второстепенные: халькопирит, марказит, сфалерит, пирротин, блеклые руды; редко встречаются арсенопирит, молибденит, кобальтин.

Пирит представлен выделениями двух типов. Первый тип — это идиоморфные выделения размером до нескольких сотен мкм, которые зачастую брекчированы, и трещины залечены халькопиритом. Пирит содержит незначительное количество Co (0,44 масс.%) и Ni (0,06 масс.%). Второй тип также слагает крупные кристаллы, но в отличие от первого типа его зерна зональные по химическому составу, что обусловлено вариациями содержания As (от 0,04 до 5,87 масс.%). В пирите первого типа отмечаются реликты пирротина, а в пирите второго типа к зонам роста иногда приурочен кобальтин.

Халькопирит слагает зерна размером несколько десятков микронов. Минерал образует сростания с молибденитом, обрастает и замещает пирит первого типа и цементирует его брекчированные кристаллы. Отмечается тонкая эмульсионная вкрапленность халькопирита в краевых зонах роста кристаллов сфалерита.

Сфалерит образует редкие одиночные кристаллы размером первые сотни микронов или сростания с халькопиритом. Такой сфалерит относится к первой генерации и по данным качественного электронно-микроскопического анализа содержит примесь Fe . Сфалерит второй генерации слагает тонкие прожилки в зернах сфалерита-I и представлен практически безжелезистой разновидностью — клейофаном.

Блеклые руды представлены относительно крупными кристаллами размером до первых сотен мкм. Они выполняют интерстиции между кристаллами пирита второго типа и трещины в них (рис. 3А). По химическому составу блеклые руды относятся к теннантиту- (Zn) и тетраэдриту- (Zn) (рис. 3Б). В целом величины сурьмяности $Sb/(Sb+As)$ и железистости $Fe/(Fe+Zn)$ в блеклых рудах варьируют соответственно от 0,18 до 0,75 и от 0,31 до 0,47. Интересной особенностью состава тетраэдрита- (Zn) является повышенное содержание Hg (до 5,84 масс.%).

Марказит образует кристаллы длиной до 200 микронов в кварцевых и карбонатных прожилках и их агрегаты. Иногда на них нарастают мелкие сферолитоподобные кристаллы арсенопирита (рис. 4А). Скорее всего, учитывая форму

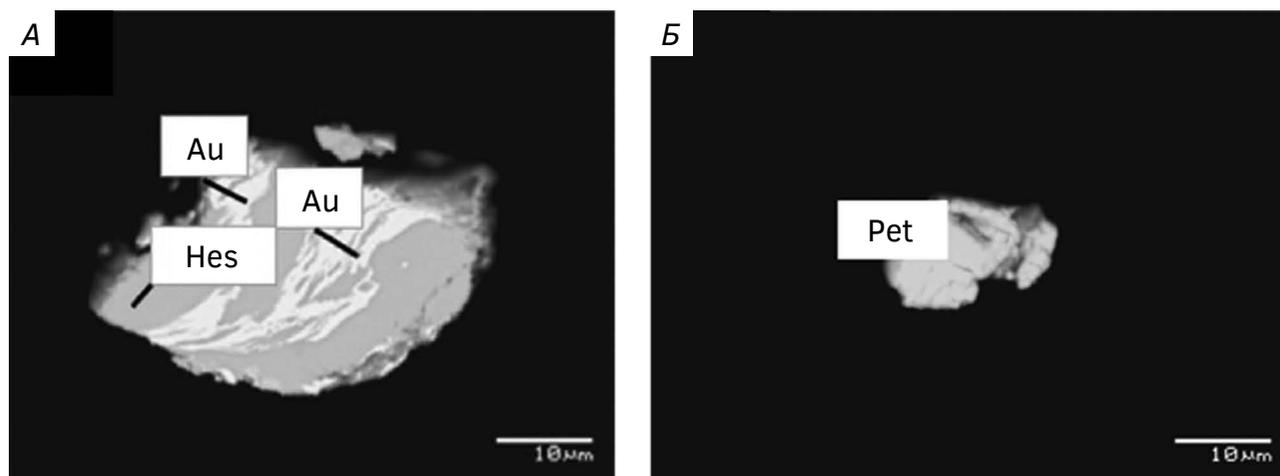


Рис. 2. Рудные минералы проявления Топь. А — самородное золото в сростании с гесситом (Hes); Б — зерно петцита (Pet)

Fig. 2. Ore minerals of the Top prospect. A — intergrowth of native gold and hessite (Hes); Б — petzite grain (Pet)

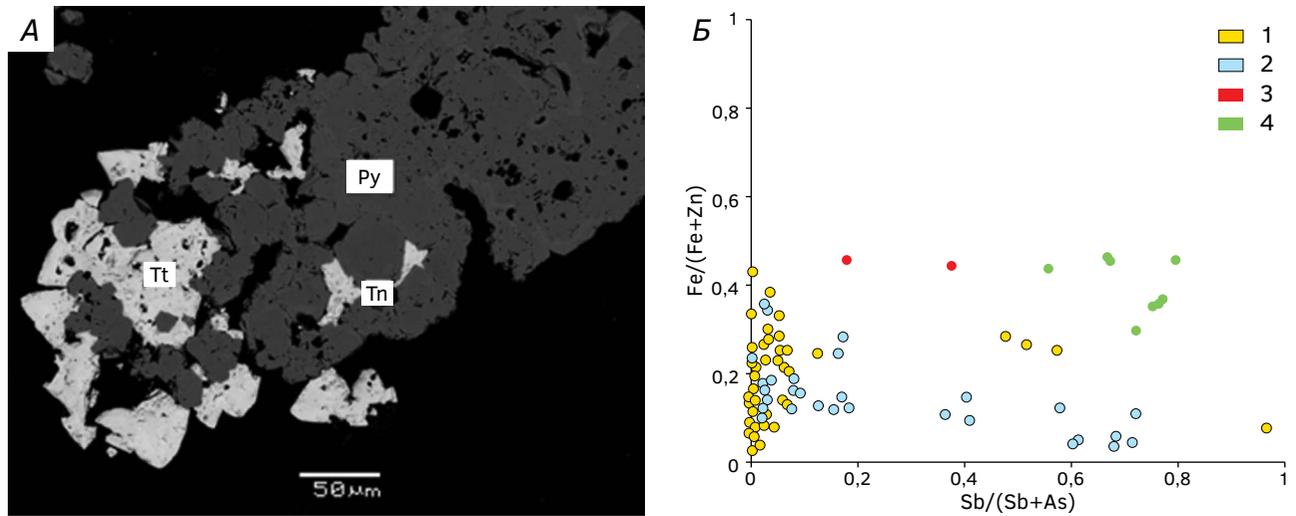


Рис. 3. Формы выделения (А) и химический состав (Б) блеклых руд проявления Лучик. А — фото в отраженных электронах. 1) месторождение Весеннее; 2) проявление Прямой; 3, 4) проявление Лучик: 3) теннантит-(Zn); 4) тетраэдрит-(Zn). Анализы блеклых руд месторождения Весеннее и проявление Прямой взяты из работы [6]
Fig. 3. Morphology (А) and composition (Б) of the tetrahedrite group minerals from the Luchik prospect. А — back-scattered electron image. 1) Vesenny deposit; 2) Pryamoy prospect; 3, 4) Luchik prospect: 3) tennantite-(Zn), 4) tetrahedrite-(Zn). Compositions of tetrahedrite group minerals from the Vesenny deposit and Pryamoy prospect are taken from [6]

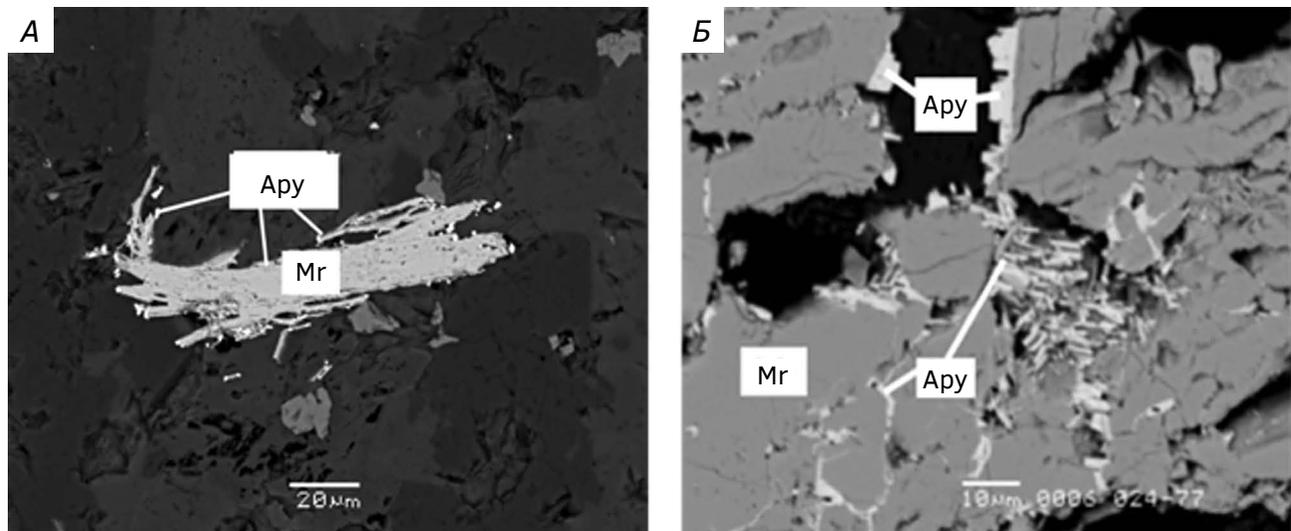


Рис. 4. Взаимоотношение между марказитом и арсенопиритом. А — нарастание мелких сферолитоподобных кристаллов арсенопирита на марказит; Б — заполнение арсенопиритом трещин в марказите. Фото в отраженных электронах
Fig. 4. The relationship between the marcasite and arsenopyrite. А — fine spherulite-like arsenopyrite crystals overgrow marcasite, Б — arsenopyrite fills fractures in marcasite. Photo in reflected electrons

кристаллов, марказит представляет собой псевдоморфозу по раннему пирротину.

Арсенопирит представлен мелкими сферолитоподобными выделениями размером до 5 микрон, которые нарастают на марказит (рис. 4А). Арсенопирит также выполняет трещины в марказите (рис. 4Б) и нарастает на пирит второго типа.

Химический состав минерала, масс. %: 35,00 Fe, 37,81 As, 2,72 Sb, 22,29 S, сумма 97,82. Отношение S/As составляет 1,38.

Обсуждение результатов и выводы

Проведенные исследования свидетельствуют о похожем характере метасоматоза

и рудной минерализации проявлений северного фланга Баимской рудной зоны. В обоих случаях ведущим типом метасоматитов являются пропилиты, сложенные минералами с близким химическом составом. Также похожа и рудная минерализация, где главными минералами являются пирит и халькопирит, при этом последний цементирует брекчированные кристаллы первого. На обоих проявлениях присутствуют зональный обогащенный мышьяком поздний пирит, сфалерит, пирротин, молибденит. Эти данные указывают на схожий характер гидротермального процесса на обоих проявлениях. Вместе с тем есть некоторые различия в минеральном составе руд. Так, на проявлении Лучик отмечены марказит, арсенопирит, блеклые руды, а на проявлении Топь — галенит, самородное золото, гессит, петцит, акантит. Скорее всего, эти различия вызваны тем, что в изученных образцах упомянутые минералы отсутствовали, но могут быть обнаружены при изучении других образцов. Подтверждением возможной находки минералов благородных металлов на проявлении Лучик является небольшая россыпь, которая обрабатывалась в прошлом.

Зональный обогащенный As пирит обычен для эпитермальных (низкотемпературных) месторождений [6, 8, 9]. В пределах Баимской зоны он описан на Au-Ag месторождении Весеннее, которое является частью порфирово-эпитермальной системы рудного поля Находка [6].

Интересно обнаружение арсенопирита, нарастающего на марказит и заполняющего трещины в нем и позднем мышьяковистом пирите. Подобные соотношения описаны на месторождении карлинского типа Дип Стар в Неваде [16]. Известно, что месторождения этого типа формируются при температуре 180—250 °C [15]. Поэтому можно предположить, что мышьяковистый пирит, марказит и арсенопирит на проявлении Лучик также формировались в этом температурном диапазоне. Относительно низкая температура образования арсенопирита Лучика подтверждается наличием в нем примеси сурьмы. Сурьмусодержащий арсенопирит был неоднократно описан на эпитермальных месторождениях [1—3, 10].

Еще одной находкой, заслуживающей обсуждения, является ртутьсодержащий тетраэдрит-(Zn), ранее не отмечавшийся среди блеклых руд Баимской рудной зоны [21]. Хотя ртутьсодержащие минералы были ранее установлены

на проявлении Туманное, которое расположено в 45 км к югу от месторождения Песчанка и находится в зоне экзонконтакта Вукнейского массива, относящегося к егдэгычскому комплексу [13]. В цитируемой работе также есть ссылки на находки киновари на проявлениях южного фланга Баимской зоны. Ртутьсодержащий тетраэдрит-(Zn) проявления Лучик отличается от тетраэдрита-(Zn) золото-серебряного месторождения Весеннее большей железистостью (рис. 3Б) и отсутствием в составе серебра.

Ртутистые блеклые руды до тетраэдрита-(Hg) обычны для эпитермальных вулканогенных месторождений, где они ассоциируют с киноварью, баритом, халькопиритом, борнитом, халькостибитом, гематитом, магнетитом [14, 17, 18]. В то же время они описаны и на гипабиссальных плутоногенных месторождениях золота, например Кварцитовые горки в Северном Казахстане, где содержание ртути в минерале достигает 6,8 масс.% [11].

Приуроченность ртутистого тетраэдрита-(Zn) Лучика к кварц-карбонатным прожилкам в интрузивных породах и отсутствие парагенных гематита, магнетита, халькостибита, киновари свидетельствуют о плутоногенном происхождении минерала на гипабиссальном уровне. С учетом минеральной ассоциации описываемая блеклая руда формировалась при относительно низкой (эпитермальной) температуре (180—250 °C).

Благороднометалльная минерализация, обнаруженная на проявлении, полностью совпадает с описанной ранее на эпитермальном Au-Ag месторождении Весеннее, входящем в состав рудного поля Находка, которое является частью Баимской зоны [8].

Согласно работе [22], эпитермальные месторождения вне зависимости от связи с интрузивным магматизмом или вулканизмом делятся на три типа: (1) high sulfidation (HS), (2) intermediate sulfidation (IS), (3) low sulfidation (LS), каждый из которых имеет свой характерный набор минералов. Сопоставляя данные цитируемой работы и данные, полученные нами, можно заключить, что рудная минерализация проявлений Топь и Лучик относится к типу IS. Учитывая факт, что эпитермальная минерализация развита в верхней части гидротермальной колонны, и наличие в Баимской зоне оруденения порфирового типа, на проявлениях Топь и Лучик возможно появление порфировой минерализации на глубине.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гамянин Г.Н., Горячев Н.А.* Типоморфизм арсенирита месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований» 29—31 марта 2010 г. М: ИГЕМ, 2010. Т. 1. С. 327.
2. *Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В.* Серебро-кобальтовый тип минерализации Верхне-Сеймчанского рудного узла (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56, № 5. С. 363—386.
3. *Горячев Н.А., Сидоров А.А., Волков А.В., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М.* Au-Ag-оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 1., С. 11—15.
4. *Колова Е.Е., Савва Н.Е.* Соотношение медно-молибден-порфирирового и золотого оруденения на п-овах Кони и Пьягина (Северное Приохотье) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2008. № 4. С. 2—15.
5. *Марущенко Л.И.* Минералогия пропилитов крупного медно-порфирирового месторождения Песчанка (Западная Чукотка) // Вестник Московского университета. 2013. № 2. С. 22—30.
6. *Нагорная Е.В.* Минералогия и зональность молибден-медно-порфирирового рудного поля Находка, Чукотка: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2013. 27 с.
7. *Нагорная Е.В.* Эволюция химического состава блеклых руд медно-молибден-порфирировых месторождений Находкинского рудного поля // Разведка и охрана недр. 2011. № 8. С. 11—16.
8. *Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Нагорная Е.В., Марущенко Л.И., Сидорина Ю.Н., Читалин А.Ф., Калько И.А.* Au-Ag минерализация порфириро-эпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений, 2016. Т. 58. № 4. С. 284—307.
9. *Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю.* Эпитермальное Ag-Au месторождение Приморское (северо-восток России): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных месторождений, 2019. Т. 61. № 1. С. 52—74.
10. *Трушин С.И., Кириллов В.Е., Буханова Д.С., Чубаров В.М.* Минералогические особенности золотых руд Албазинского и Ульбанского рудных районов (Хабаровский край) // Регион. геология и металлогения. 2019. № 78. С. 91—97.
11. *Филимонов С.В.* Минералы группы блеклых руд — индикаторы рудогенеза (на примере гидротермальных месторождений золота: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2009. 25 с.
12. *Bayliss P.* Nomenclature of the trioctahedral chlorites // Can. Miner., 1975. V. 13. P. 178—180.
13. *Baksheev I.A., Vlasov E.A., Nikolaev Yu.N., Krivitskaya N.N., Koshlyakova N.N., Nagornaya E.V., Kara T.V., Dzhezheya G.T.* Mineralogy of the Tumanny Au-Ag-Te-Hg epithermal veins, Western Chukchi Peninsula, Russia // Ore Geology Reviews, 2018. V. 101. P. 293—311.
14. *Biagioni C., Sejkora J., Musetti S., Velebil D., Pasero M.* Tetrahedrite-(Hg), a new 'old' member of the tetrahedrite group // Mineralogical Magazine, 2020. V. 84. P. 584—592.
15. *Cline J.S., Hofstra A.H., Muntean J.L., Tosdal R.M., Hickey K.A.* Carlin-Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models. Society of Economic Geologists, 2005. P. 451—484.
16. *Fleet M.E., Mumin A.H.* Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis. American Mineralogist. 1997. V. 82. P. 182—193.
17. *Foit, F.F. Jr., Ulbricht, M.E.* Compositional variation in mercurian tetrahedrite-tennantite from epithermal deposits of the Steens and Pueblo Mountains, Harney County, Oregon. Can. Mineral. 2001. V. 39. P. 819—830.
18. *Jurković I.B.* Geochemical characteristics of mercurian tetrahedrite, barite and fluorite from the Duboki Vagan, Glumac and Dubrave-Dugi Dol barite deposits, south of Kreševo, Mid-Bosnian Schist Mts // Geologia Croatica. 2011. V. 64. P. 49—59.
19. *Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W.* Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // Mineral. Mag. 2004. V. 68. P. 209—215.
20. *Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N.J., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G.* Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names // Mineral. Mag. 1997. V. 61. P. 295—321.
21. *Marushchenko L.I., Baksheev I.A., Nagornaya E.V., Chitalin A.F., Nikolaev Yu.N., Vlasov E.A.* Compositional evolution of the tetrahedrite solid solution in porphyry-epithermal system: A case study of the Baimka Cu-Mo-Au trend, Chukchi Peninsula, Russia // Ore Geology Reviews. 2017. P. 21—37.
22. *Sillitoe R.H., Hedenquest J.W.* Linkages between volcanotectonic settings, orefluid compositions, and epithermal precious metal deposits // Soc. Econ. Geol. Spes. Publ. 2003. V. 10. P. 315—343.
23. *Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // Econ. Geol. 2010. V. 105. P. 3—41.

REFERENCES

1. Gamyarin G.N., Goryachev N.A. Tipomorfizm arsenopirita mestorozhdenij zolota i serebra Severo-Vostoka Azii // *Materialy Vserossijskoj konferencii «Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh asociacii, usloviya obrazovaniya mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovanii»* 29—31 marta 2010 g. Moscow: IGEM, 2010. V. 1. P. 327.
2. Goryachev N.A., Gamyarin G.N., Prokofev V.Yu., Savva N.E., Velivetskaya T.A., Ignat'ev A.V. Silver-cobalt mineralization in the Upper Seymchan ore cluster, Northeastern Russia // *Geol. Ore Deposits*, 2014. V. 56. No. 5. P. 322—345.
3. Goryachev N.A., Sidorov A.A., Volkov A.V., Gamyarin G.N., Savva N.E., Okrugin V.M. Au-Ag-orudnenie vulkanogennykh poyasov Severo-Vostoka Azii // *Vulkanizm i geodinamika: Materialy IV Vserossijskogo simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii. Petropavlovsk-Kamchatskij: IVIS DVO RAN*, 2009. V. 1. P. 11—15.
4. Kolova E.E., Savva N.E. Sootnoshenie medno-molibden-porfirovogo i zolotogo orudneniya na p-ovah Koni i P'jagina (Severnoe Prihot'e) // *Vestnik SVNC DVO RAN*. 2008. No. 4. P. 2—15.
5. Maruschenko L.I. The mineralogy of propylites of the large Peschanka porphyry copper deposit (West Chukotka) // *Moscow Univ. Geol. Bull.*, 2013. V. 68. No. 2. P. 79—88.
6. Nagornaja E.V. Mineralogija i zonal'nost' molibden-medno-porfirovogo rudnogo polja Nahodka, Chukotka: avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Moscow, 2013. 27 p.
7. Nagornaja E.V. Evolyuciya himicheskogo sostava bleklyh rud medno-molibden-porfirovyh mestorozhdenij Nahodkinskogo rudnogo polya // *Razvedka i Okhrana Nedr*. 2011. No. 8. P. 11—16.
8. Nikolaev Yu.N., Baksheev I.A., Prokofiev V.Yu., Nagornaya E.V., Marushchenko L.I., Sidorina Yu.N., Chitalin A. F., Kal'koa I.A. Gold-silver mineralization in porphyry-epithermal systems of the Baimka Trend, Western Chukchi Peninsula, Russia // *Geol. Ore Deposits*, 2016. V. 58. No. 4. P. 284—307.
9. Savva N.E., Volkov A.V., Sidorov A.A., Kolova E.E., Murashov K.Yu. Primorskoe epithermal Ag-Au deposit (Northeastern Russia): Geological setting, mineralogy, geochemistry, and ore formation conditions // *Geol. Ore Deposits*, 2016. V. 61. No. 1. P. 50—73.
10. Trushin S.I., Kirillov V.E., Buhanova D.S., Chubarov V.M. Mineralogicheskie osobennosti zolotykh rud Albazinskogo i Ul'banskogo rudnyh rajonov (Habarovskii kraj) // *Region. Geologiya i Metallogeniya*. 2019. No. 78. P. 91—97.
11. Filimonov S.V. Mineraly gruppy bleklykh rud — indikator rudogeneza (na primere gidrotermal'nykh mestorozhdenij zolota: avtoref. dis. kand. geol.-miner. nauk. Moscow, 2009. 25 p.
12. Bayliss P. Nomenclature of the trioctahedral chlorites // *Can. Miner.*, 1975. V. 13. P. 178—180.
13. Baksheev I.A., Vlasov E.A., Nikolaev Yu.N., Krivitskaya N.N., Koshlyakova N.N., Nagornaya E.V., Kara T.V., Dzhezheya G.T. Mineralogy of the Tumanny Au-Ag-Te-Hg epithermal veins, Western Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*, 2018. V. 101. P. 293—311.
14. Biagioni C., Sejkora J., Musetti S., Velebil D., Pasero M. Tetrahedrite-(Hg), a new 'old' member of the tetrahedrite group // *Mineralogical Magazine*, 2020. V. 84. P. 584—592.
15. Cline J.S., Hofstra A.H., Muntean J.L., Tosdal R.M., Hickey K.A. Carlin-Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models. Society of Economic Geologists, 2005. P. 451—484.
16. Fleet M.E., Mumin A.H. Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis. *American Mineralogist*. 1997. V. 82. P. 182—193.
17. Foit, F.F. Jr., Ulbricht, M.E. Compositional variation in mercurian tetrahedrite-tennantite from epithermal deposits of the Steens and Pueblo Mountains, Harney County, Oregon. *Can. Mineral.* 2001. V. 39. P. 819—830.
18. Jurković I.B. Geochemical characteristics of mercurian tetrahedrite, barite and fluorite from the Duboki Vagan, Glumac and Dubrave-Dugi Dol barite deposits, south of Kreševo, Mid-Bosnian Schist Mts // *Geologia Croatica*. 2011. V. 64. P. 49—59.
19. Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D., Burke E.A.J., Ferraris G., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Schumacher J.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature // *Mineral. Mag.* 2004. V. 68. P. 209—215.
20. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N.J., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles; report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names // *Mineral. Mag.* 1997. V. 61. P. 295—321.
21. Marushchenko L.I., Baksheev I.A., Nagornaya E.V., Chitalin A.F., Nikolaev Yu.N., Vlasov E.A. Compositional evolution of the tetrahedrite solid solution in porphyry-epithermal system: A case study of the Baimka Cu-Mo-Au trend, Chukchi Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2017. P. 21—37.
22. Sillitoe R.H., Hedenquist J.W. Linkages between volcanotectonic settings, orefluid compositions, and epithermal precious metal deposits // *Soc. Econ. Geol. Spes. Publ.* 2003. V. 10. P. 315—343.
23. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // *Econ. Geol.* 2010. V. 105. P. 3—41.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Юсупова А.В. — внесла вклад в обработку и анализ минералогических данных и в создание графической информации, подготовила текст статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Бакшеев И.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Кошлякова Н.Н. — внесла вклад в обработку и анализ электронно-микроскопических исследований минералов и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alena V. Yusupova — contributed to the processing and analysis of geological and geochemical data and to the creation of graphical information, prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ivan A. Baksheev — contributed to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Natalia N. Koshlyakova — contributed to the processing and analysis of electron microscopic studies of minerals and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Юсупова Алена Викторовна* — аспирант кафедры минералогии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (929) 647-88-03
e-mail: yusupovalena.v@gmail.com

Бакшеев Иван Андреевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (965) 227-68-61
e-mail: iab_68@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6920-427X>

Кошлякова Наталья Николаевна — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (915) 233-44-53
e-mail: nkoshlyakova@gmail.com

Alena V. Yusupova* — PhD student, Department of Mineralogy, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (929) 647-88-03
e-mail: yusupovalena.v@gmail.ru

Ivan A. Baksheev — candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor, Department of Mineralogy, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (965) 227-68-61
e-mail: iab_68@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6920-427X>

Nataliaya N. Koshlyakova — candidate of geological and mineralogical sciences, lead engineer, Department of Petrology and Volcanology, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (915) 233-44-53
e-mail: nkoshlyakova@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-73-79>
УДК 550.8+551.242.1



ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СЪЕМОК, ВЫПОЛНЕННЫХ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Н.А. КАСЬЯНОВА

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Геодинамический подход широко используется при проведении региональных прогнозно-поисковых работ и способствует повышению их эффективности, но для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых его применение ограничено и даже невозможно. Одной из ключевых проблем локального прогноза и поисков полезных ископаемых (твердых, жидких, газообразных) является наличие нестандартных (мерцающих) геофизических аномалий, что затрудняет интерпретацию результатов геофизических съемок, выполненных в разное время на разных стадиях геолого-разведочных работ. Статья посвящена выяснению возможности использования геодинамических исследований при локальном прогнозе и поисках твердых полезных ископаемых на основе привлечения новейших научных знаний из области изучения пространственно-временных закономерностей развития современных геодинамических процессов и их влияния на земные геофизические поля.

Цель. Повышение достоверности результатов интерпретации данных геофизических съемок, выполненных для локального прогноза и поисков месторождений твердых полезных ископаемых.

Материалы и методы. Исследования проведены на основе комплексного анализа литературных данных, фондовых материалов и результатов многолетних собственных исследований автора в областях современной геодинамики и поисково-разведочной геодинамики. Основу исходных данных составили данные мониторинга различных земных геофизических полей (деформационного, сейсмического, приземного магнитного).

Результаты. Установлена геодинамическая причина возникновения мерцающих аномалий в земных геофизических полях (в частности, магнитном) и предложен механизм их формирования под влиянием современных геодинамических процессов. Расширена возможность использования геодинамического подхода при поисках твердых полезных ископаемых и предложены пути повышения эффективности локальных поисков.

Заключение. Проведенные исследования показали возможность использования геодинамических исследований при локальных поисках твердых полезных ископаемых, что будет способствовать повышению достоверности результатов интерпретации данных геофизических съемок и в итоге общему снижению финансовых затрат и сокращению времени на поиски месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: полезные ископаемые, прогноз и поиски, нестандартные (мерцающие) геофизические аномалии, современные геодинамические процессы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Касьянова Н.А. Пути повышения достоверности интерпретации результатов геофизических съемок, выполненных для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых: геодинамический подход. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):73—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-73-79>

Статья поступила в редакцию 25.02.2021
Принята к публикации 28.05.2021
Опубликована 31.05.2021

WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF INTERPRETING THE RESULTS OF GEOPHYSICAL SURVEYS PERFORMED FOR THE LOCAL FORECAST AND PROSPECTING FOR SOLID MINERALS: A GEODYNAMIC APPROACH

NATALIA A. KASYANOVA

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. The geodynamic approach is effectively used in regional forecasting and prospecting works. However, its application for local forecasting and prospecting for solid minerals is limited and sometimes impossible. One of the key problems of local forecasting and prospecting for minerals (solid, liquid, gaseous) is the presence of non-standard (flickering) geophysical anomalies, which complicates the interpretation of the results of geophysical surveys performed at different times at different stages of geological exploration. The article is devoted to clarifying the possibility of using geodynamic research in local forecasting and prospecting for solid minerals on the basis of attracting the latest scientific knowledge from the field of studying the spatio-temporal patterns of the development of modern geodynamic processes and their influence on the Earth's geophysical fields.

Aim. To increase the reliability of interpreting the results of geophysical surveys performed for local forecasting and prospecting for solid minerals.

Materials and methods. The research was carried out on the basis of a comprehensive analysis of literature data, fund materials and the results of many years of the author's own research in the fields of modern geodynamics and prospecting and exploration geodynamics. The initial data were based on the monitoring data of various Earth's geophysical fields (deformation, seismic, and surface magnetic).

Results. A geodynamic reason for the appearance of flickering anomalies in the Earth's geophysical fields (in particular, magnetic) has been established, and a mechanism for their formation under the influence of modern geodynamic processes has been proposed. The possibility of using the geodynamic approach in the prospecting for solid minerals has been expanded, and ways to increasing the efficiency of local searches have been proposed.

Conclusions. The research demonstrates the possibility of using geodynamic studies in local prospecting for solid minerals, which helps to increase the reliability of the results of interpretation of geophysical survey data, and, as a result, to reduce the overall financial and time costs involved with searching for mineral deposits.

Keywords: minerals, forecast and prospecting, non-standard (flickering) geophysical anomalies, modern geodynamic processes

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Kasyanova N.A. Ways to improve the reliability of interpreting the results of geophysical surveys performed for the local forecast and prospecting for solid minerals: a geodynamic approach. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2020;63(4):73—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-73-79>

*Manuscript received 25 February 2021
Accepted 28 May 2021
Published 31 May 2021*

Геодинамический подход широко используется при проведении региональных прогнозно-поисковых работ на твердые полезные ископаемые, что способствует повышению их эффективности. При этом его применение для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых ограничено и даже невозможно. Это связано с тем, что прогнозные локальные объекты (рудное тело, узел и т.д.) находятся в пределах одной тектонической и геодинамической зоны, одной геологической и рудной формации, что затрудняет выполнение на небольших по площади территориях прогнозно-минерагенического районирования [6].

Вместе с тем знания об особенностях геодинамического развития исследуемой территории могут быть весьма полезными при интерпретации результатов геофизических съемок. В частности, одной из ключевых проблем локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых является наличие нестандартных («мерцающих») геофизических аномалий (периодически возникающих и исчезающих в пределах одних и тех же участков), что, естественно, затрудняет интерпретацию результатов геофизических съемок, выполненных в разное время на разных стадиях прогнозно-поисковых работ.

Следует отметить, что в современной нефтегазовой прогнозно-поисковой практике подобная проблема хотя и не обозначена (геофизические съемочные работы проводят, как правило, одноразово), но не исчезла. Явление «мерцающих» аномалий геофизических полей имеет место и для территорий месторождений углеводородов, что давно установлено на специализированных полигонах, совмещенных с нефтегазоносными зонами, где проводились комплексные геофизические исследования (магнито-, грави-, электрометрические, геодинамические) в мониторинговом режиме [2, 4, 7].

Данная статья посвящена изучению нестандартных геофизических аномалий (на примере магнитных аномалий) для использования при интерпретации результатов геофизических съемок, выполненных для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых.

Результаты

Пространственно-временная связь между возникновением «мерцающих» аномалий в геофизических полях и аномальными проявлениями современных геодинамических процессов (сейсмических, асейсмических)

Периодическое возникновение геофизических аномалий в пределах одних локальных участков

указывает их природное происхождение. Остается выяснить: какие процессы, происходящие в геологической среде, могут оказать подобное влияние на изменение земных физических полей? Очевиден только один вариант: тектонические процессы, которые способны решающим образом повлиять на развитие всех земных физических полей и флюидодинамических систем, и их аномальные проявления локализованы по площади и во времени [5].

Ниже приведены примеры пространственно-временной связи между периодическим возникновением аномальных изменений в геофизических полях и формированием современных геодинамических аномалий: сейсмических (1) и асейсмических (2).

(1) Эффект возникновения магнитных аномалий, связанных с землетрясениями, давно привлекает внимание многих исследователей [1, 3, 8], и научно-практический интерес к нему с годами заметно увеличивается. Появились публикации, в которых достаточно подробно описаны пространственно-временные особенности аномального локализованного изменения магнитного поля в связи с процессами, предшествующими землетрясениям [3], а землетрясения рассматриваются как источник магнитогравитационных волн [1].

В частности, в работе [3] подробно описаны вариации магнитного поля Земли в связи с землетрясениями (на примере сильнейшего землетрясения с магнитудой 9, происшедшего 11.03.2011 на восточном побережье Японии). По результатам анализа данных ближайшей расположенной здесь станции Есаши установлено, что:

- вековые изменения компонентов магнитного поля Земли (в течение десятков и сотен лет) происходят достаточно плавно, однако на этом фоне в суточных вариациях магнитного поля уверенно проявляется цикличность (рис. 1). За наблюдаемый период 2000—2011 гг. зафиксированы четыре магнитные аномалии продолжительностью от 0,5 года до 3 лет. Последняя магнитная аномалия (перед землетрясением 11.03.2011) была самой сильной и проявлялась около 3 лет;

- формирование магнитных аномалий предшествует землетрясениям, однако непосредственно перед землетрясением все эти аномалии практически затухают.

(2) Изучению возникновения магнитных аномалий под влиянием медленных тектонических процессов (асейсмических) посвящены публикации [2, 4, 7]. В частности, анализ данных комплексных повторных высокоточных геодезических измерений и измерений геофизических полей (магнито-,

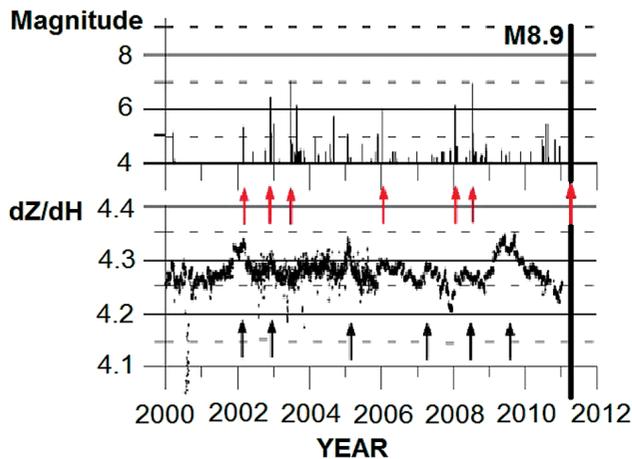


Рис. 1. Пространственно-временная связь между современными изменениями геомагнитного поля и тектонических напряжений в земной коре (на примере восточного побережья Японии, магнитная станция Есаши) за период наблюдения 01.01.2000—31.01.2011 [3]: а) динамика землетрясений, б) отношение разностей (dZ/dH) магнитных компонент для станции Есаши. Красные стрелки — аномальная сейсмичность, $M > 6$. Черные стрелки — аномалии геомагнитного поля. Вертикальная черная линия — момент сильного землетрясения (11.03.2011)

Fig. 1. The spatial-temporal relationship between present-day changes of the geomagnetic field and tectonic stresses in the earth's crust (on example of the eastern coast of Japan, the Yesashi magnetic station) for the observation period from 01.01.2000 to 31.01.2011 [3]: a) dynamics of earthquakes, b) ratio of differences (dZ/dH) of magnetic components for Yesashi station. Red arrows — anomalous seismicity, $M > 6$. Black arrows — anomalies of the geomagnetic field. Vertical black line — the moment of a strong earthquake (11.03.2011)

электро-, гравиметрические исследования) вдоль ряда профилей на Грозненском, Припятском и других геодинамических полигонах, которые функционировали в советский период, позволил установить [2]:

- связь между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами;
- пространственно-временную связь между возникновением геофизических аномалий и аномальным развитием современных вертикальных движений, которые, как правило, происходит в пределах разрывных нарушений, проявляющих современную тектоническую нестабильность.

На рисунке 2 приведены графики современного изменения приземного магнитного поля вдоль Терского профиля (Грозненский геодинамический полигон) за период апрель 1986 г. — сен-

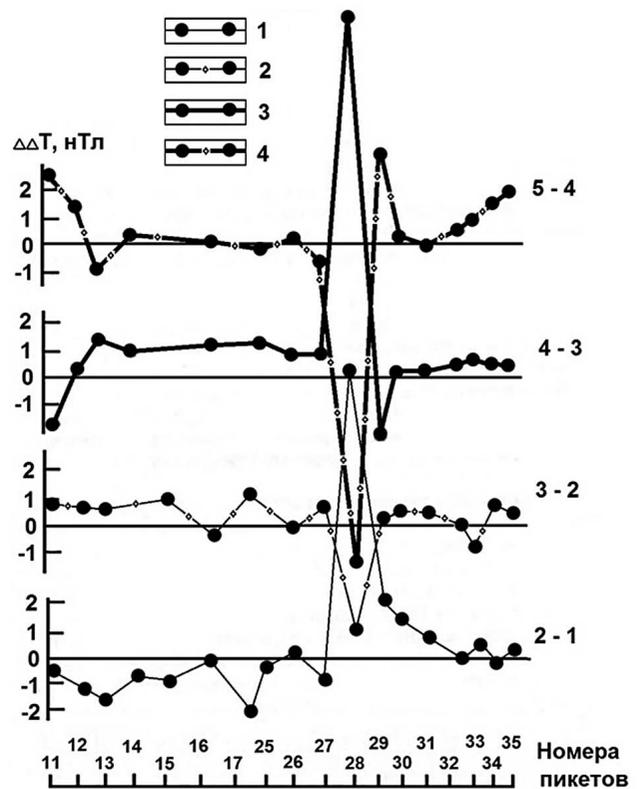


Рис. 2. Графики пространственно-временного изменения магнитного поля вдоль Терского профиля (Грозненский геодинамический полигон, Терско-Сунженская антиклинальная зона, центральная часть Терско-Каспийского прогиба) за период: апрель 1986 г. — сентябрь 1989 г. [4].

Даты измерений магнитного поля: 1 — апрель 1986 г., 2 — сентябрь 1986 г., 3 — июнь 1987 г., 4 — сентябрь 1988 г., 5 — сентябрь 1989 г.

Изменение магнитного поля за периоды: 2-1 — сентябрь—апрель 1986 г., 3-2 — июнь 1987 г. — сентябрь 1986 г., 4-3 — сентябрь 1988 г. — июнь 1987 г., 5-4 — сентябрь 1989 г. — сентябрь 1988 г.

Fig. 2. Graphs of the space-temporal change of the magnetic field along the Terek profile (Grozny geodynamic polygon, Tersko-Sunzhensky anticlinal zone, central part of the Terek-Caspian trough) for the period: from April 1986 to September 1989 [4].

Magnetic field measurement dates: 1 — April 1986, 2 — September 1986, 3 — June 1987, 4 — September 1988, 5 — September 1989.

Change of magnetic field for periods: 2-1 — September-April 1986, 3-2 — June 1987 — September 1986, 4-3 — September 1988 — June 1987, 5-4 — September 1989 — September 1988

тябрь 1989 г. За этот период выполнено по профилю 5 измерений магнитного поля с частотой опроса от 5 до 12 месяцев.

Из графиков следует, что за рассматриваемый период наблюдений на фоне небольших изменений магнитного поля вдоль профиля выделяется локальный участок (пикеты № 27—29), где магнитное поле изменялось аномально дважды (с периодом в один год).

Возникновение и продолжительность аномалий приземного магнитного поля имеют пространственно-временную связь с формированием здесь (вдоль Терского профиля) геодинамических аномалий, связанных с аномальным (по амплитуде, скорости) волновым развитием современных вертикальных движений земной коры [4, 7].

Таким образом, вышеприведенные примеры констатируют существующую пространственно-временную связь (локализация по площади и во времени, периодичность) между формированием аномальных изменений в геофизических полях (на примере магнитного поля) и геодинамических (сейсмических, асейсмических) аномалий.

Пространственно-временные особенности формирования современных геодинамических аномалий и количественно-временные выражения связанных с ними аномальных изменений в геофизических полях

Как известно, тектонические движения земной коры происходят всегда и везде, обладают волновой природой и наиболее ярко (скачкообразно, импульсно) развиваются в пределах тектонически нарушенных зон (разрывные нарушения разного ранга). Подобное перераспределение тектонического напряжения в земной коре находит отражение в развитии всех земных физических полей и флюидодинамических систем.

Основные пространственно-временные особенности формирования современных геодинамических аномалий [5]:

- *плановая приуроченность* к разрывным нарушенным зонам разного ранга;
- *периодичность* возникновения в пределах одних и тех же участков/зон (в зависимости от масштабности аномальных проявлений тектонических процессов) носит полиуровневый характер (инструментально установлены 22—25, 11—13, 5—6 лет, 2—3 года, 1 год, полгода, 3—4, 1 месяц);
- *площадные размеры* для наиболее часто встречаемых аномалий — длиной и шириной от первых сотен метров до 1—3 км) и во времени (короткоживущие — от первых недель до 1—1,5 года, чаще — 3—4 месяца и 1,2—1,4 года).

В пределах разрывных нарушений и в период их современной тектонической активизации инструментально зафиксированы одновременно происходящие аномальные локализованные (по площади и во времени) нижеследующие изменения в геофизических полях [2]:

- локализованные вариации магнитного поля во времени — до $\pm(8—10)$ нТл/год;
- локализованные вариации силы тяжести во времени — до $\pm(0,2—0,3)$ мГал/год, где увеличение значений (+) соответствует условиям тектонического сжатия, (-) разрядка тектонического напряжения, значения снижаются до уровня прежних фоновых значений поля.

Возможный механизм аномального изменения, в частности приповерхностного магнитного поля, под влиянием современных геодинамических процессов представляется следующим образом:

Активизация (по любой первопричине) тектонических движений земной коры вызывает перераспределение тектонического напряжения в земной коре, что в пределах тектонически нарушенных зон происходит аномально. В этих зонах, характеризующихся нарушением сплошности геологической среды, по мере миграции тектонического напряжения (давления, величина векторная) первоначально происходит его активное накопление. В случае обновления или новообразования трещиноватости в горных породах на данном участке (что зависит от тектонической энергии и прочностных характеристик пород) происходит разрядка (резкое снижение) избыточного тектонического напряжения.

Тектонические движения земной коры, имеющие волновую природу и аномально протекающие в пределах разрывных нарушений, приводят к периодическому соответственно локализованному (по площади и во времени) аномальному изменению (повышению/снижению) в геологической среде температуры и проводимости, перераспределению земных токов и изменению (повышению/снижению параметров) магнитного поля на земной поверхности.

Предложенный механизм объясняет вышеуказанные особенности возникновения магнитных аномалий в период непосредственно предшествующий сильному землетрясению (рис. 1). Данные особенности приведены в работе [3], а именно: формирование магнитных аномалий всегда предшествует сильным землетрясениям, однако непосредственно перед землетрясением (начало образования микро- и трещин) все эти аномалии затухают.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Заключение

Результаты проведенного исследования имеют большое научно-практическое значение, поскольку:

- раскрыта геодинамическая причина наличия нестандартных («мерцающих») геофизических аномалий, которые не имеют прямой связи с наличием месторождений полезных ископаемых, а связаны с динамическими особенностями геологической среды — напряженно-деформационным состоянием земных недр на момент проведения геофизических съемок;

- предложен возможный механизм возникновения «мерцающих» геофизических аномалий (в частности, магнитных аномалий) под влиянием современных геодинамических процессов;

- существенно расширена возможность использования геодинамического подхода при поис-

ках твердых полезных ископаемых (сейчас геодинамические исследования используют, как правило, на стадии региональных исследований);

- предложены пути повышения эффективности локальных поисков — за счет повышения достоверности результатов интерпретации данных геофизических съемок (привлекая накопленные новейшие знания из смежных наук о Земле: инструментально установленные количественные выражения локализованных аномальных изменений в геофизических полях под влиянием современных тектонических процессов, количественные выражения пространственно-временного формирования самих современных геодинамических аномалий), а следовательно, общего снижения финансовых затрат и сокращения времени на проведение поисков месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бархатова О.М., Косолапова Н.В., Бархатов Н.А. Землетрясения как источник магнитогравиционных волн // Тр. форума «Великие реки 2013», 2013. Нижний Новгород: Изд. ННГАСУ, 2014. С. 93—96.
2. Донабедов А.Т., Сидоров В.А. О соотношениях между современными вертикальными движениями земной коры, геофизическими полями и геоструктурными элементами на юго-западе Русской платформы // Современные движения земной коры. М.: Наука, 1963. С. 63—85.
3. Исмагилов В.С., Копытенко Ю.А., Попов Г.М. Аномальные возмущения в вековых вариациях магнитного поля Земли перед катастрофическим землетрясением в Японии 11.03.2011 / Сб. тезисов XXXVI ежегодного Апатитского семинара «Физика авроральных явлений». Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2013. С. 71—74.
4. Касьянова Н.А. Особенности современной геодинамики Терско-Сунженского района (Восточное Предкавказье) // Геотектоника. 1994. № 5. С. 85—90.
5. Касьянова Н.А. Экологические риски и геодинамика. М.: Научный мир, 2003. 332 с.
6. Кочнев А.П. Особенности локального прогнозирования твердых полезных ископаемых // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 1 (54). С. 33—44.
7. Кузнецова В.Г., Максимчук В.Е. Результаты тектономагнитных исследований для изучения структуры и современной геодинамики литосферы Терско-Каспийского прогиба // Геофизический журнал. 1991. Т. 13, № 6. С. 47—55.
8. Mogi K. Earthquake Predictions. Tokyo, Orlando, Fla: Academic Press, 1985. 166 p. (In English).

REFERENCES

1. Barkhatova O.M., Kosolapova N.V., Barkhatov N.A. Earthquakes as a source of magnetic gravity waves. Forum "Great Rivers 2013", 2013. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2014. P. 93—96 (In Russian).
2. Donabedov A.T., Sidorov V.A. On the relations between modern vertical movements of the earth's crust, geophysical fields and geostructural elements in the south-west of the Russian platform. Present-day movements of the earth's crust. Moscow: Science, 1963. P. 63—85 (In Russian).
3. Ismagilov V.S., Kopytenko Yu.A., Popov G.M. Anomalous disturbances in centuries-old variations of the Earth's magnetic field before a catastrophic earthquake in Japan 11.03.2011. XXXVI annual Apatit Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Apatity: Kola Scientific Center, 2013. P. 71—74 (In Russian).
4. Kasyanova N.A. Features of present-day geodynamics of the Tersko-Sunzhensky area (Eastern Ciscaucasia). Geotectonics, 1994. No. 5. P. 85—90 (In Russian).
5. Kasyanova N.A. Environmental risks and geodynamics. Moscow: Scientific World, 2003. 332 p. (In Russian).
6. Kochnev A.P. Features of local forecasting of solid minerals. Geology, prospecting and exploration of ore deposits. 2016. No. 1 (54). P. 33—44 (In Russian).
7. Kuznetsova V.G., Maksimchuk V.E. Results of tectonomagnetic studies to study the structure and present-day geodynamics of the lithosphere of the Terek-Caspian trough. Geophysical journal. 1991. V. 13. No. 6. P. 47—55 (In Russian).
8. Mogi K. Earthquake Predictions. Tokyo, Orlando, Fla: Academic Press, 1985. 166 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Касьянова Н.А. — внесла вклад в решение проблемы использования геодинамических исследований для локального прогноза и поисков твердых полезных ископаемых и интерпретации нестандартных (мерцающих) геофизических аномалий, в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Natalia A. Kasyanova — contributed to solving the problem of using geodynamic studies for local forecasting and prospecting of solid minerals and interpreting non-standard (shimmering) geophysical anomalies, to developing the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Касьянова Наталья Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры «Методика поисков и разведки месторождений полезных ископаемых», профессор кафедры «Геология и разведка месторождений углеводородов» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: nkasyanova@mail.ru
SPIN-код: 1528-5332
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1662-9458>

Natalia A. Kasyanova — Dr. of Sci. (Geol. and Mineral.), Professor, Professor of the Department “Methodology of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits”, Professor of the Department “Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits” of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nkasyanova@mail.ru
SPIN: 1528-5332
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1662-9458>



ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ МАЛОМОЩНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ПОМОЩИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ПРИМЕРЕ ТУЛЬСКО- БОБРИКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Б.В. ПЛАТОВ*, Р.И. ХАЙРУТДИНОВА, А.И. КАДИРОВ

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт геологии и нефтегазовых технологий
4/5, ул. Кремлевская, г. Казань 420111, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Определение мощности продуктивных отложений имеет принципиальную важность для оценки запасов нефтяных и газовых месторождений. Для оценки толщины пластов в межскважинном пространстве применяют данные 3D-сейсморазведки. Однако из-за ограниченной вертикальной разрешающей способности сейсморазведочных данных оценка толщин маломощных отложений (менее 20 м) является сложной задачей.

Цель — оценить различные подходы к расчету мощности продуктивных отложений по данным сейсморазведки и выбрать наилучший.

Материалы и методы. В данной статье авторы сравнивают результаты применения различных подходов для оценки мощности продуктивных отложений тульско-бобриковского возраста в межскважинном пространстве: метод схождения (расчет мощности по скважинам без привлечения сейсморазведочных данных), применение сейсмических атрибутов и расчет зависимости «сейсмический атрибут — мощность пласта» (для атрибутов доминирующая частота и моночастотная компонента на частоте 60 Гц), оценка мощности по форме сейсмического сигнала. Для расчета карт прогнозных мощностей по данным сейсмических атрибутов и классификации по форме сигнала применялся кокригинг. В качестве критерия качества результатов применен метод кросс-валидации и расчет среднеквадратичного отклонения по каждому из методов.

Результаты. Среднеквадратичное отклонение при оценке точности построения карты мощности составило по методу схождения 12,3 м, по атрибуту «доминирующая частота» — 10,2 м, по атрибуту «моночастотная компонента на частоте 60 Гц» — 7,2 м и по классификации по форме сигнала — 6,3 м. Последний из указанных методов дал наилучшие результаты, а также по построенной карте мощности возможно прослеживание палеовреза.

Заключение. Применение метода оценки мощности по форме сейсмического сигнала позволяет уменьшить значение среднеквадратичного отклонения в 2 раза по сравнению с широко применяемым на практике методом схождения. Данный подход позволяет более точно оценить мощность продуктивных отложений и выполнить подсчет запасов углеводородов.

Ключевые слова: сейсморазведка, интерпретация сейсморазведочных данных, маломощный пласт, сейсмический атрибут, классификация по форме сейсмотрассы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Платов Б.В., Хайрутдинова Р.И., Кадилов А.И. Оценка толщины маломощных пластов при помощи данных сейсморазведки на примере тульско-бобриковских отложений Республики Татарстан. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(4):80—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-80-87>

Статья поступила в редакцию 19.02.2021

Принята к публикации 12.04.2020

Опубликована 31.05.2021

* Автор, ответственный за переписку

EVALUATING THE THICKNESS OF THIN-BED SEAMS USING SEISMIC DATA ON THE EXAMPLE OF THE TULA-BOBRIKOVIAN SEDIMENTS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

BORIS V. PLATOV*, RUZILYA I. KHAYRUTDINOVA, AINUR I. KADIROV

Kazan Federal (Volga region) University, Institute of Geology and Petroleum Technologies
4/5 Kremlevskaya str., Kazan 420111, Russia

ABSTRACT

Background. Determining the productive deposit thickness is of fundamental importance for assessing the reserves of oil and gas fields. 3D seismic data is used to assess the thickness of seams in the interwell space. However, owing to the limited vertical resolution of seismic data, estimating thicknesses of thin deposits (less than 20 m) is challenging.

Aim. To evaluate different approaches to calculating the thickness of the productive deposits based on seismic data with the purpose of selecting the most optimal approach.

Materials and methods. We compared the results obtained using different approaches to assessing the productive deposit thickness of the Tula-Bobrikovian age in the interwell space, including the convergence method (calculating the thickness for oilwells with no seismic data used), the use of seismic attributes to calculate the “seismic attribute — reservoir thickness” dependency (for attributes, dominant frequency and mono-frequency component at 60 Hz), estimation of the thickness from the seismic signal shape. Cokriging was used to calculate inferred power maps from seismic attribute data and to classify them by waveform. For each of the techniques, the cross-validation method and calculating the root-mean-square deviation were used as quality criteria.

Results. When assessing the accuracy of thickness map development, the root-mean-square deviation was 12.3 m according to convergence method, 10.2 m — to the dominant frequency attribute, 7.2 m — to the attribute of the monofrequency component at 60 Hz and 6.3 m — to the signal shape classification. The latter method yielded the best results, and the developed thickness map allowed paleo-cut to be traced.

Conclusions. Applying the thickness estimation method based on the seismic signal shape allows the value of the root-mean-square deviation to be reduced by a factor of 2 compared to that of the widely adopted convergence method. This approach permits productive deposits thickness to be more accurately estimated and hydrocarbon reserves to be determined.

Keywords: seismology, seismic data interpretation, thin-bed seam, seismic attribute, classification by shape of seismic trace

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Platov B.V., Khayrutdinova R.I., Kadirov A.I. Evaluating the thickness of thin-bed seams using seismic data on the example of the Tula-Bobrikovian sediments in the Republic of Tatarstan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(4):80—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-80-87>

Manuscript received 19 February 2021

Accepted 12 April 2021

Published 31 May 2021

* Corresponding author

Определение трехмерной геометрии и внутренней архитектуры пластов коллекторов важно для прогнозирования запасов и добычи нефти. Многие коллекторы имеют малую мощность, которая меньше сейсмического разрешения.

При использовании стандартной сейсмической записи сейсмическое разрешение составляет порядка 12 м [13]. Однако в реальной записи при наличии шума разрешающая способность становится еще меньше, и оценка мощности

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

отложений толщиной менее 20 м является сложной задачей [2].

Скважинные данные могут использоваться для построения карт мощностей, но прогноз мощности на основе одномерных скважинных данных имеет высокую неопределенность [8]. Следовательно, точное прогнозирование границ и оценка толщины русловых песчаных тел имеет большое значение для снижения рисков бурения и повышения нефтеотдачи [12].

Некоторые авторы [2] применяли мультитрассовые сейсмические атрибуты, такие как доминирующая частота (dominant frequency) и стратиграфические переменные (stratigraphic variables), которые могут быть напрямую связаны с толщиной пласта. Применение спектральной декомпозиции, а также комбинаций различных частотных составляющих сигнала также является возможным решением проблемы [6, 11].

Еще одним подходом к оценке мощности пластов является классификация сейсмических данных по форме сейсмической трассы.

Форма и характер сейсмической волны часто используются для характеристики качества коллатора. Это связано с тем, что форма сейсмической волны несет информацию о фазе, частоте и амплитуде — и любое изменение этих параметров считается отражением изменения литологии, пористости и типа флюида [1]. Можно использовать классификацию формы волны для оценки толщины пласта в межскважинном пространстве [3].

Геологическая характеристика объекта

Объектом исследования стали отложения бобриковско-радаевского возраста на одном из месторождений Республики Татарстан. Кровля тульского горизонта нижнего карбона является сильным положительным отражением и легко опознается

в сейсмической записи. Отражающая граница выдержана по площади и не имеет разрывов и нарушений. Турнейский ярус также представлен сильным отражением. Однако карта изохрон между тульским и турнейским отражениями не соответствует изменению мощности, наблюдаемому по скважинным данным. На рисунке 1 показан сейсмический разрез 3D-куба с выделенными отражениями, отождествляемыми с тульским горизонтом и турнейским ярусом.

По скважинным данным на исследуемой территории мощность отложений изменяется от 12 м (в областях отсутствия врезов) до 41 м (в областях развития врезов), средняя мощность отложений 21 м, что является недостаточным для уверенного разделения по данным сейсморазведки [13]. Эрозионные палеоврезы бобриковско-радаевского возраста широко распространены на территории Республики Татарстан. С палеоврезовыми отложениями связаны многие месторождения нефти, с чем связан значительный интерес к их изучению [5, 7, 11].

Методика

В рамках данной работы использовался сейсмический куб 3D и данные по 14 глубоким скважинам.

Для эксперимента было рассчитано 9 кубов сейсмических атрибутов: доминирующая частота, спектральная декомпозиция на 5 различных частотах (40, 45, 50, 55 и 60 Гц), envelope, RMS amplitude и относительный акустический импеданс.

Доминирующая частота использует преобразование Фурье и выделение в каждой точке значения частоты с наибольшей амплитудой. Спектральная декомпозиция применяет дискретное преобразование Фурье для выделения отдельных частот в сигнале. Атрибут envelope рассчитывает огибающую комплексной сейсмической трассы

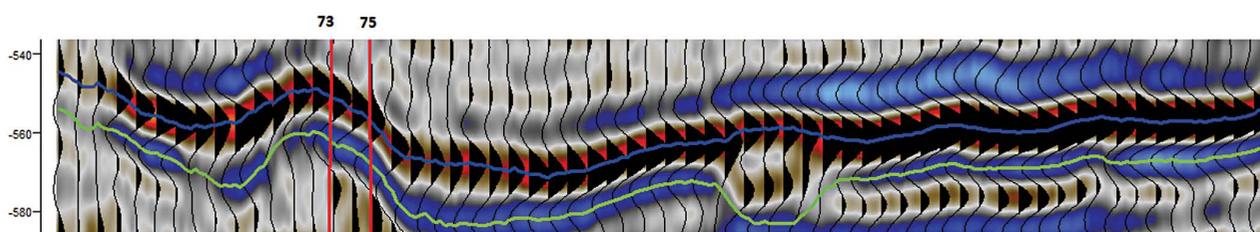


Рис. 1. Сейсмический разрез 3D-куба вдоль инлайна с юго-запада на северо-восток (положение инлайна в кубе обозначено на рисунках 2—5) с выделенными отражениями, отождествляемыми с тульским горизонтом (синяя линия) и турнейским ярусом (зеленая линия). Красными линиями обозначено положение скважин 73 и 75, находящихся на линии инлайна

Fig. 1. Seismic section of a 3D cube along the inline from southwest to northeast (the position of the inline in the cube is indicated in Fig. 2—5) with highlighted reflections identified with the Tula horizon (blue line) and the Tournaisian stage (green line). The red lines indicate the position of wells 73 and 75, which are on the inline

(которая соотносится с общей энергией сигнала). Атрибут RMS amplitude — это среднеквадратичная амплитуда сигнала в каждой точке сейсмотрассы. Относительный акустический импеданс рассчитывается по принципу простейшей сейсмической инверсии без привязки к скважинам и моделирования. Подробнее о сути этих атрибутов написано в работах [9, 10].

Значения сейсмических атрибутов в точках пересечения скважин сравнивались с данными по мощностям интервала для выявления зависимости вида «сейсмический атрибут — мощность пласта».

Далее для сейсмических атрибутов с наибольшей корреляцией строились прогнозные карты мощности. Однако, несмотря на высокую степень корреляции, построение карт мощностей по линейным зависимостям дает неувязку в значениях

по скважинам. Чтобы избежать этого, авторы применили кокригинг в качестве алгоритма картопостроения. Этот алгоритм позволяет строить карты по данным скважин с включением в них информации по сейсмическим атрибутам [4].

Также авторами применялась классификация сейсмического сигнала по форме сейсмотрассы и связь полученных классов с мощностями отложений. Расчеты проводились в программном продукте Canvas от Paradigm. Суть метода заключается в моделировании изменения формы сигнала в зависимости от толщины слоя с настройкой на данные по скважинам.

Результаты и обсуждение

В результате анализа 9 атрибутов высокие значения корреляции между мощностью и сейсмическим атрибутом были получены только для двух

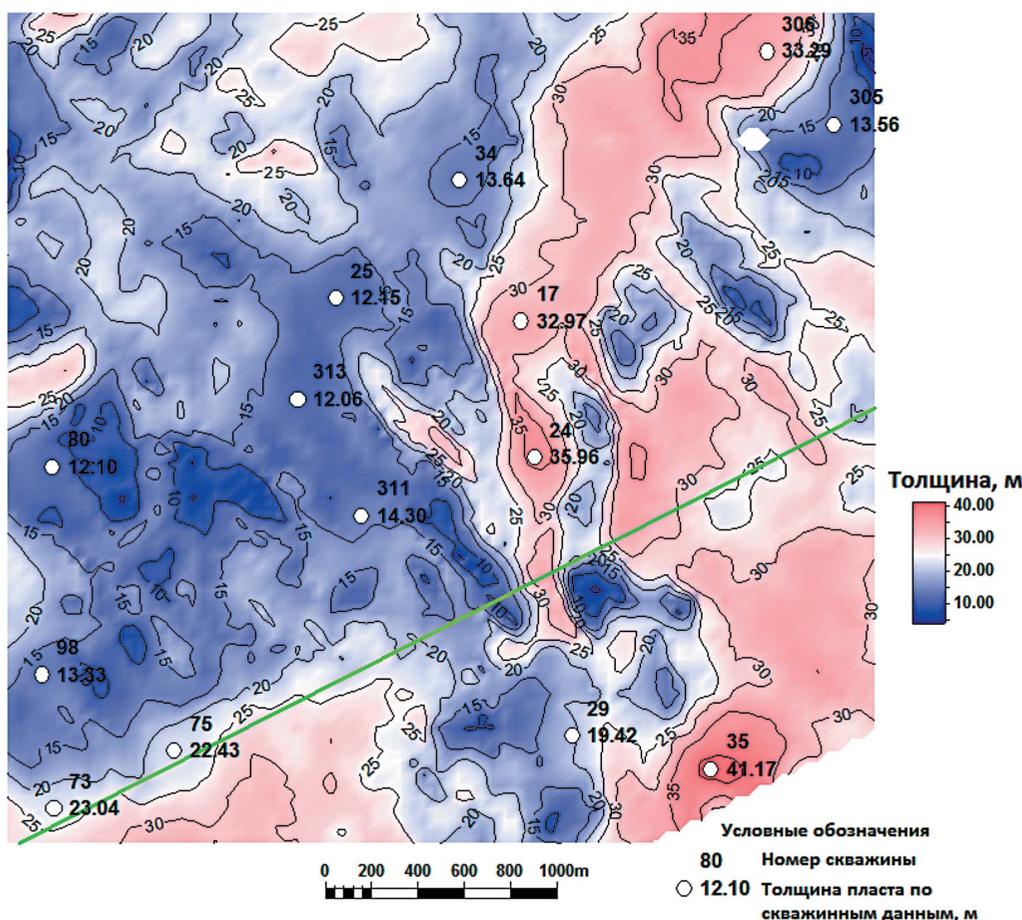


Рис. 2. Карта мощностей, рассчитанная по атрибуту «доминирующая частота» (Dominant frequency). На карте приведены названия скважин и мощность тульско-бобриковских отложений по каждой скважине. Зеленой линией обозначено положение инлайна, приведенного на рисунке 1

Fig. 2. Thickness map calculated by the Dominant frequency attribute. The map shows the names of the wells and the thickness of the Tula-Bobrikovsky deposits for each well. The green line indicates the position of the inline shown in Figure 1

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

атрибутов: доминирующая частота (коэффициент корреляции $-0,67$) и моночастотная компонента на частоте 60 Гц (коэффициент корреляции $-0,9$). Эти атрибуты были использованы при построении карт мощности.

Карты мощностей, построенные по сейсмическим атрибутам, приведены на рисунках 2 и 3. На рисунке 4 приведена карта, рассчитанная по данным классификации сейсмического сигнала по форме сейсмотрассы.

Оценка точности проводилась методом кросс-валидации. Суть метода заключается в последовательном исключении из данных одной точки (скважины), построении карты по оставшимся скважинам и сравнении значений полученной карты и исключенной точки. Проверка проводилась последовательным исключением каждой

из 14 скважин, то есть всего для каждого метода проводилось 13 реализаций. Для каждого метода вычислялось среднеквадратичное отклонение по всем реализациям.

Для проверки качества методик авторами была построена карта мощности методом схождения, без использования сейсмического материала. Полученные результаты приведены в таблице.

Другие авторы, работавшие над схожей задачей, решали ее разными методами. В работе [8] проанализировано изменение мощности прослоев глин по модели выклинивающего пласта, но без количественной характеристики и без оценки точности своих расчетов. Применение классификации по форме волны также применялось авторами работы [3] и показало хорошую корреляцию с увеличением мощности в палеоканалах.

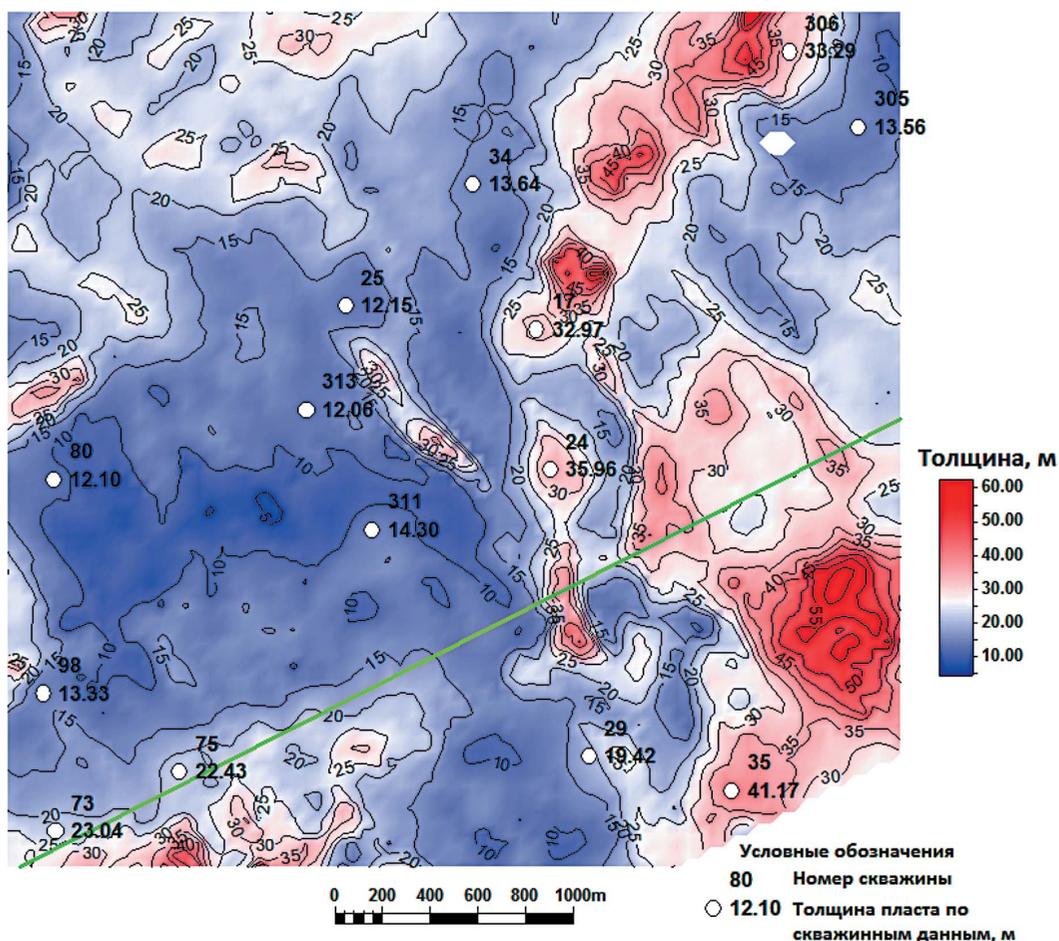


Рис. 3. Карта мощностей, рассчитанная по атрибуту «моночастотная компонента на частоте 60 Гц». На карте приведены названия скважин и мощность тульско-бобриковских отложений по каждой скважине. Зеленой линией обозначено положение инлайна, приведенного на рисунке 1

Fig. 3. Thickness map calculated from the attribute of iso-frequency component at 60 Hz. The map shows the names of the wells and the thickness of the Tula-Bobrikovsky deposits for each well. The green line indicates the position of the inline shown in Figure 1

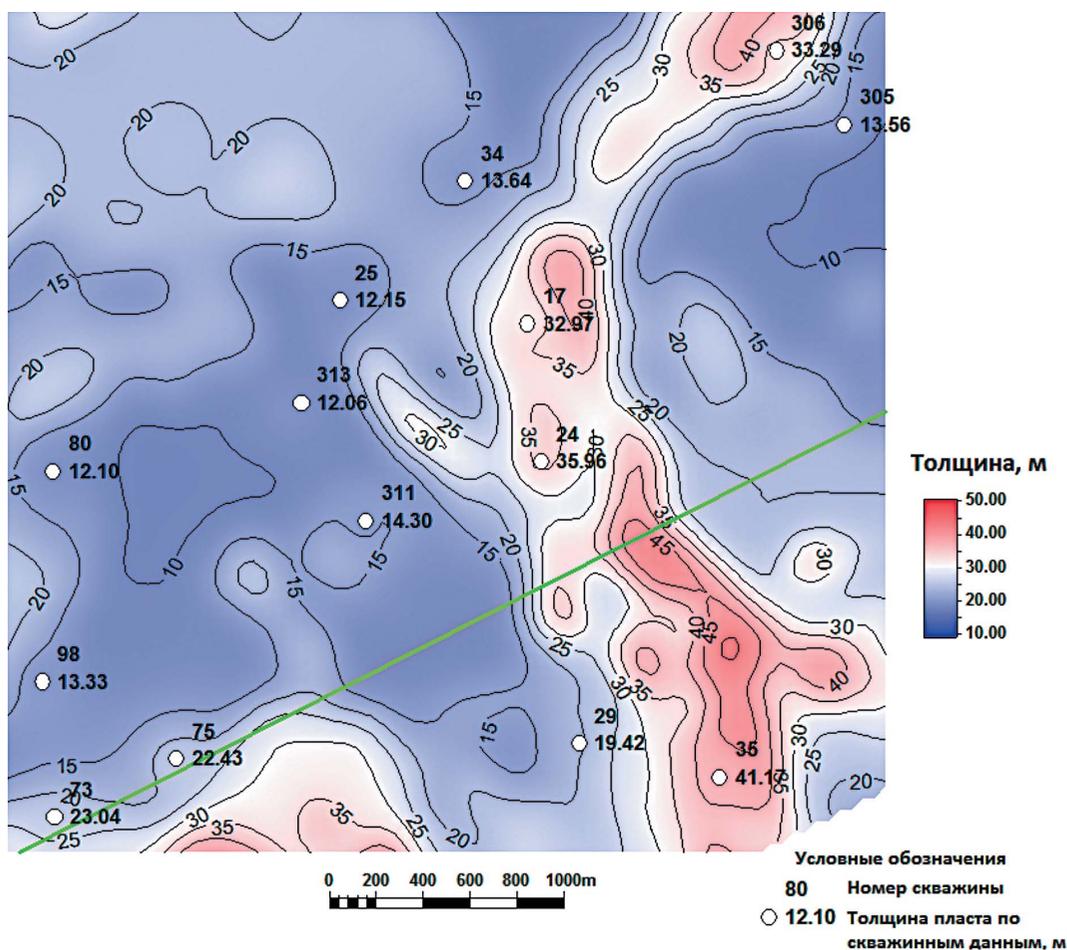


Рис. 4. Карта мощностей, рассчитанная по классификации по форме сигнала. На карте приведены названия скважин и мощность тульско-бобриковских отложений по каждой скважине. Зеленой линией обозначено положение инлайна, приведенного на рисунке 1

Fig. 4. Thickness map calculated by waveform classification. The map shows the names of the wells and the thickness of the Tula-Bobrikov deposits for each well. The green line indicates the position of the inline shown in Figure 1

Авторы работы [6] применили спектральную декомпозицию и сейсмическую инверсию для построения карты мощности на месторождении Tuscaloosa по данным 3D-сейсморазведки. В этой работе удалось с высокой точностью предсказать мощность продуктивных отложений. Наконец в работе [11] авторы применили

12 сейсмических атрибутов, объединили их в единую модель мощности при помощи нейронной сети и откалибровали по данным скважин.

Как видно, авторы, работавшие над проблемой оценки мощности маломощных отложений по данным сейсморазведки на различных месторождениях, получали схожие результаты.

Таблица. Среднеквадратичное отклонение мощности, рассчитанной по разным методам
Table. The standard deviation of the thickness calculated by different methods

Метод	Среднеквадратичное отклонение (м)
Метод схождения	12,3
Сейсмический атрибут «доминирующая частота»	10,2
Сейсмический атрибут «моночастотная компонента на частоте 60 Гц»	7,2
Классификация по форме сигнала	6,3

Выводы

Оценка мощности продуктивных отложений для маломощных пластов была проведена различными методами: метод схождения, применение сейсмических атрибутов, оценка мощности по форме сейсмического сигнала.

Применение метода схождения дает очень большую погрешность (среднеквадратичное отклонение порядка половины мощности оцениваемого пласта). Применение

сейсмических атрибутов уменьшает среднеквадратичное отклонение (доминирующая частота — 10,2 м, моночастотная компонента (на частоте 60 Гц) — 7,2 м). Однако классификация по форме сигнала дает наилучшие результаты и позволяет уменьшить среднеквадратичную ошибку почти в два раза, до 6,3 м. Кроме того, при использовании этого метода возможно четко проследить положение палеовреза и оценить его мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Валеева С.Е., Баранова А.Г., Успенский Б.В.* Особенности строения и изменения коллекторских свойств пластов бобриковского горизонта в визейских врезках (на примере месторождений Мелекесской впадины) // Георесурсы. 2014. № 3. С. 22—24.
2. *Демьянов В.В., Савельева Е.А.* Геостатистика: теория и практика. Под ред. Р.В. Арутюняна. М.: Наука, 2010. 327 с.
3. *Ларочкина И.А., Ганиев Р.Р., Михайлова Е.Н., Новиков И.П.* Влияние эрозионно-карстовых врезок на размещение залежей нефти в радаевско-бобриковских отложениях // Георесурсы. 2010. № 3. С. 38—41.
4. *Zahraa A., Ghosh D.* Seismic Waveform Classification of Reservoir Properties Using Geological Facies Through Neural Network. S. I. ICIPEG, 2017. P. 525—535.
5. *Bacon M., Ronald Masters A., Simm R., Redsha T.* 3-D Seismic Interpretation. Cambridge University Press, 2007. 212 p.
6. *Lodwick B., Grant-Woolley L.* Waveform classification as a pseudo for reservoir thickness. Adelaide: ASEG-PESA-AIG, 2016. P. 1—4.
7. *Shoemaker M.L., Robinson J.B., Trumbly P.N., Brennan B.A.* Prediction of Thin Bed Reservoirs Below 1/4 Wavelength Tuning Thickness Using Full Bandwidth Inverted Seismic Impedance. International petroleum technology conference, scientific conference abstracts, Dubai, U.A.E. 2007. P. 6—12.
8. *Platov B., Kozhevnikova N., Shipaeva M.* The example of neural net algorithm applying for seismic facies analysis. Example from the Republic of Tatarstan. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, scientific conference abstracts, Bulgaria, 2019. P. 593—600.
9. *Birtus P.R., Iacopini D., Bond C.E.* Defining the 3D geometry of thin shale units in the Sleipner reservoir // Marine and Petroleum Geology. 2016. Vol. 78. P. 405—425.
10. *Chopra S., Marfurt K.J.* Geophysics Seismic attributes — A historical perspective // 2005. No. 70 (5). P. 3—28.
11. *Lia W., Yue D., Wang W., Wang W., Wu S., Lic J., Chen D.* Fusing multiple frequency-decomposed seismic attributes with machine learning for thickness prediction and sedimentary facies interpretation in fluvial reservoirs // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 177. P. 1087—1102.
12. *Lia W., Yue D., Wu S., Shuc Q., Wang W., Longa T.* Thickness prediction for high-resolution stratigraphic interpretation by fusing seismic attributes of target and neighboring zones with an SVR algorithm // Marine and Petroleum Geology. 2020. Vol. 113. P. 1—14.
13. *Widess M.B.* How thin is a thin bed? // Geophysics. 1973. Vol. 38. P. 1021—1240.

REFERENCES

1. *Valeeva S.E., Baranova A.G., Uspenskij B.V.* Features of the structure and changes in reservoir properties of the Bobrikovsky horizon formations in the Visean paleochannels (example of the Melekess depression oilfields) // Georesursy. 2014. Vol. 3. P. 22—24. (In Russian).
2. *Demyanov V. V., Savelyeva E. A.* Geostatistics: theory and practice // Institute for the Problems of Safe Development of Nuclear Energy of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 2010. 327 p. (In Russian).
3. *Larochkina I.A., Ganiev R.R., Mihajlova E.N., Novikov I.P.* Influence of erosional-karst paleochannels on the placement of oil deposits in the Radaevsko-Bobrikovsky sediments // Georesursy. 2010. Vol. 3. P. 38—41. (In Russian).
4. *Zahraa A., Ghosh D.* Seismic Waveform Classification of Reservoir Properties Using Geological Facies Through Neural Network. S. I. ICIPEG, 2017. P. 525—535.
5. *Bacon M., Ronald Masters A., Simm R., Redsha T.* 3-D Seismic Interpretation. Cambridge University Press, 2007. 212 p.
6. *Lodwick B., Grant-Woolley L.* Waveform classification as a pseudo for reservoir thickness. Adelaide: ASEG-PESA-AIG, 2016. P. 1—4.
7. *Shoemaker M.L., Robinson J.B., Trumbly P.N., Brennan B.A.* Prediction of Thin Bed Reservoirs Below 1/4 Wavelength Tuning Thickness Using Full Bandwidth Inverted Seismic Impedance. International petroleum technology conference, scientific conference abstracts, Dubai, U.A.E. 2007. P. 6—12.
8. *Platov B., Kozhevnikova N., Shipaeva M.* The example of neural net algorithm applying for seismic facies analysis. Example from the Republic of Tatarstan.

- 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, scientific conference abstracts, Bulgaria, 2019. P. 593—600.
9. *Birtus P.R., Iacopini D., Bond C.E.* Defining the 3D geometry of thin shale units in the Sleipner reservoir // *Marine and Petroleum Geology*. 2016. Vol. 78. P. 405—425.
10. *Chopra S., Marfurt K.J.* Geophysics Seismic attributes — A historical perspective // 2005. No. 70 (5). P. 3—28.
11. *Lia W., Yue D., Wanga W., Wanga W., Wu S., Lic J., Chen D.* Fusing multiple frequency-decomposed seismic attributes with machine learning for thickness prediction and sedimentary facies interpretation in fluvial reservoirs // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019. Vol. 177. P. 1087—1102.
12. *Lia W., Yue D., Wu S., Shuc Q., Wanga W., Longa T.* Thickness prediction for high-resolution stratigraphic interpretation by fusing seismic attributes of target and neighboring zones with an SVR algorithm // *Marine and Petroleum Geology*. 2020. Vol. 113. P. 1—14.
13. *Widess M.B.* How thin is a thin bed? // *Geophysics*. 1973. Vol. 38. P. 1021—1240

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Платов Б.В. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Хайрутдинова Р.И. — расчет мощности отложений при помощи классификации по форме сейсмического сигнала. Литературный обзор.

Кадилов А.И. — расчет мощности при помощи сейсмических атрибутов. Кросс-валидационная проверка результатов. Оформление графики.

Boris V. Platov — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article, and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Ruzilya I. Khairutdinova — calculation of the thickness using the waveform classification. Literature review.

Ainur I. Kadirov — thickness calculation using seismic attributes. Cross-validation check of results. Graphic design.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Платов Борис Викторович* — старший преподаватель кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов Института геологии и нефтегазовых технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

4/5, ул. Кремлевская, г. Казань 420111, Россия

тел.: +7 (904) 662-37-30

e-mail: swborispl@mail.ru

SPIN-код: 4939-4807

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4218-9230>

Boris V. Platov* — Senior lecturer, Department of Development and Operation of Hard-to-Recover Hydrocarbon Fields, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan Federal University.

4/5, Kremlevskaya str., Kazan 420111, Russia

tel.: +7 (904) 662-37-30

e-mail: swborispl@mail.ru

SPIN: 4939-4807

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4218-9230>

Хайрутдинова Рузиля Ильгизаровна — студентка Института геологии и нефтегазовых технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

4/5, ул. Кремлевская, г. Казань 420111, Россия

тел.: +7 (960) 069-99-92

e-mail: ruzilya.khairutdinova@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8255-2885>

Ruzilya I. Khairutdinova — student of the Institute of Geology and Oil and Gas Technologies of Kazan Federal University.

4/5, Kremlevskaya str., Kazan 420111, Russia

tel.: +7 (960) 069-99-92

e-mail: ruzilya.khairutdinova@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8255-2885>

Кадилов Айну́р Илгизарович — студент Института геологии и нефтегазовых технологий ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

4/5, ул. Кремлевская, г. Казань 420111, Россия

тел.: +7 (987) 270-90-36

e-mail: kadirovajnur238@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5914-8016>

Ainur I. Kadirov — student of the Institute of Geology and Oil and Gas Technologies of Kazan Federal University.

4/5, Kremlevskaya str., Kazan 420111, Russia

tel.: +7 (987) 270-90-36

e-mail: kadirovajnur238@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5914-8016>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



РЕАБИЛИТАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ: ОПЫТ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.К. АХМАДИЕВ*, В.Н. ЭКЗАРЬЯН

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Реабилитация природной среды играет одну из значимых ролей в смягчении или устранении экологического ущерба. В этом плане вызывает интерес опыт стран мира по организации и регулированию деятельности по восстановлению экосистем.

Цель — проведение обширного сравнительного анализа особенностей правового регулирования реабилитации природной среды в зарубежных странах.

Материалы и методы. В основу исследования легли три ключевых критерия: законодательно закреплённая обязанность проведения реабилитации природной среды; наличие понятия «реабилитация» или его аналога; приведение объектов реабилитации. Анализ проводился на основе изучения реестров правовой информации и официальных ресурсов правительств, парламентов более 20 стран мира. За основной временной промежуток был взят период с 1970 по 2019 г. Именно с 1970-х годов можно говорить о широком развитии природоохранного права в мире. В отдельных случаях брался отсчет времени от первого упоминания действующего закона в области охраны окружающей среды.

Результаты. Исследование позволило разделить страны на две категории. Первая — страны с преобладающей системой вертикального природоохранного правового регулирования, вторая — страны, ориентированные на горизонтальное природоохранное правовое регулирование. Авторами были описаны особенности каждой категории. Другим результатом стало определение характерных черт в организации реабилитации природной среды. Среди таких черт можно выделить: требование планов по восстановлению, закреплённые в праве алгоритмы действий, введение специальных кадастров, ранжирование объектов реабилитации по значимости и т. д. Не менее значимым итогом исследования можно назвать формулирование универсального толкования понятия «реабилитация природной среды».

Заключение. Проведенное исследование показало, что необходимость и важность реабилитации природной среды признается во всем мире. Между тем необходимо решить такие задачи, как определение принципов реабилитации природной среды и систематизация направлений восстановления экосистем.

Ключевые слова: биосфера, деградация, реабилитация, экосистема, правовое регулирование, компоненты природной среды, окружающая среда

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00069-20-02 от 10 сентября 2020 г. (тема № АААА-А20-120092590017-4).

Для цитирования: Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Реабилитация природной среды в зарубежных странах: опыт правового регулирования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(4):88—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-88-97>

Статья поступила в редакцию 20.04.2020

Принята к публикации 16.04.2021

Опубликована 31.05.2021

* Автор, ответственный за переписку

ENVIRONMENTAL REMEDIATION IN FOREIGN COUNTRIES: EXPERIENCE OF LEGAL REGULATION

ARTHUR K. AKHMADIYEV*, VLADIMIR N. EKZARYAN

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. Environmental remediation plays an important role in mitigating or eliminating environmental damage. The worldwide experience in organising and regulating ecosystem recovery activity is of interest.

Aim. An extensive comparative analysis of the particularities of legal regulation in the sphere of environmental remediation in foreign countries.

Materials and methods. The study was based on three major criteria: the environmental remediation enshrined in law; the provision of the term “remediation” or its equivalent; identifying the objects of remediation. The analysis was based on the examination of the legal information registers and official government and parliament resources of over 20 countries worldwide. The study covers the period from 1970 to 2019, because since the 1970s, one can speak about the widespread implementation of environmental laws. In individual cases, the first mentioning of the current environmental law was taken as a starting point.

Results. Based on the results of the study, the countries were divided into two categories. The first group was dominated by the vertical environmental legislation system and the second — by the horizontal one. The authors described the features of each group and identified the characteristic features of environmental remediation management. These features include the requirements for remediation plans, action plans enshrined in the law, introduction of special cadastre, importance ranking of remediation objects, etc. Formulating a universal interpretation of the “environmental remediation” term is another significant result of this study.

Conclusions. The study showed that the need for and importance of environmental remediation is recognised worldwide. In the meantime, it is necessary to identify the principles of environmental remediation and to systematise approaches to ecosystem restoration.

Keywords: biosphere, degradation, remediation, ecosystem, legal regulation, components of the environment, environment

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the research was completed within the framework of the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-00069-20-02 dated September 10th, 2020 (theme No. AAAA-A20-120092590017-4).

For citation: Akhmadiyev A.K., Ekzaryan V.N. Environmental remediation in foreign countries: experience of legal regulation. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(4):88—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-88-97>

Manuscript received 20 April 2020

Accepted 16 April 2021

Published 31 May 2021

* Corresponding author

Преобразование естественной природы в урбанизированные, сельскохозяйственные, промышленные ландшафты можно назвать основным результатом воздействия человека на природную среду. Причины таких преобразований, как правило, кроются в росте населения, благосостояния и возрастающих потребностях общества.

В случае, когда такое давление находится в определенных пределах, можно говорить о минимальном или не приводящем к серьезным последствиям изменении. Однако если мы сталкиваемся с переходом за пределы допустимого давления, то здесь речь идет уже о деградации земель, утрате биоразнообразия и других компонентов природы.

Самыми яркими примерами выхода за эти пределы являются увеличение доли обезлесенных территорий и активизация процессов опустынивания. Так, считается, что скорость сведения лесов в мире составляет примерно 14,6 млн га/год, а скорость восстановления (прежде всего естественного) оценивается в 5,2 млн га/год [3]. А процессы опустынивания (например, аральская экологическая катастрофа XX века и зона Сахеля к югу от Сахары) представляют сегодня острейшую мировую проблему. На аридных территориях проживает более 1 млрд чел., а их экосистемы становятся все более уязвимыми и не способными к регенерации [2].

Устойчивое развитие, о котором особенно за последние 25 лет говорится достаточно много, пока является благим устремлением человечества. Ввиду самых различных факторов его продвижение идет медленными темпами. В этой связи возрастает роль восстановительной экологии. Реабилитация природной среды сегодня является одним из значимых элементов в управлении природопользованием и природоохранной деятельностью. Принимая во внимание то, что проявления экологического кризиса наблюдаются в самых разных странах, а степень воздействия на окружающую среду неоднородна, особый интерес вызывает опыт регулирования и организации реабилитации природной среды в мире.

Методы

В основу данного исследования легли обзоры реестров правовой информации и официальные ресурсы правительств, парламентов более 20 стран мира. При выборе той или иной страны учитывались: уровень сложившейся правовой культуры, социально-экономическое положение страны и географические особенности с целью попытки охвата всех континентов, а также стран как наиболее развитых (постиндустриальных), так и развивающихся.

В исследовании за основной временной промежуток был взят период с 1970 по 2019 г. Именно с 1970-х годов можно говорить о широком развитии природоохранного права в мире. В отдельных случаях брался отсчет времени от первого упоминания действующего закона в области охраны окружающей среды.

Суть исследования заключалась в проведении обширного сравнительного анализа особенностей правового регулирования реабилитации природной среды. Для этого были взяты три ключевых критерия: законодательно закрепленная обязанность проведения реабилитации природной

среды; наличие понятия «реабилитация» или его аналога; выделение природных и природно-антропогенных объектов, которые подлежат или могут подлежать восстановлению.

Результаты и их обсуждение

Проводимое исследование позволило увидеть, насколько разнообразны подходы к регулированию деятельности по реабилитации природной среды. Его уникальность заключается в том, что была проделана попытка рассмотреть сложившийся правовой природоохранительный механизм стран, расположенных в различных географо-геологических и зонально-климатических условиях, с разным уровнем социально-экономического развития. Наиболее значимые показатели были сведены в таблицу, наглядно показывающую существующую картину и дающую общее представление о системе правового регулирования. В дополнение к ней следует описать замеченные особенности, специфике если не всех, то хотя бы ряда стран. К таким особенностям можно отнести требование планов по восстановлению, закрепленные законодательно алгоритмы действий, введение специальных кадастров, ранжирование объектов реабилитации по значимости и т.д.

Австралия

Характерной чертой природоохранного законодательства Австралии можно считать ориентированность на сохранение биоразнообразия. Главным приоритетом здесь выступает дикая природа, а вопросы реабилитации направлены на различные виды или сообщества, как правило, редкие или исчезающие. Так, в Законе об охране окружающей среды и биоразнообразия (1999 г.) [6] регламентируется возможность формирования программ восстановления исчезающих видов или находящихся на грани исчезновения. В содержании таких программ должны учитываться угрозы как для вида, так и для места его обитания, методы по снижению этих угроз, а также предположительная продолжительность процесса восстановления популяции или их ареала.

Страны Евразии

Здесь для начала выделим азиатскую часть стран. Ориентация на сохранение биоразнообразия имеется и у **Индии**. В законе о биологическом разнообразии (2002 г.) [11] закреплены два подхода к его сохранению и восстановлению. Первый — *ex situ* — направлен на сохранение компонентов биоразнообразия в не их естественной среде обитания. Другой подход — *in situ* — заключается в сохранении экосистем, а также поддержании

и восстановлении жизнеспособных популяций в их исходной среде обитания, т.е. данный подход закрепляет целесообразность реабилитации видов только в их естественной среде. Все же, несмотря на приоритет в области биоразнообразия, Закон об охране окружающей среды Индии (1986) [12] предусматривает, что реабилитация природной среды является мерой и по ликвидации последствий техногенных аварий, приведших к значительному загрязнению окружающей среды.

Среди азиатских стран интерес вызывает и **Япония**. Она имеет одну из самых развитых систем природоохранного права. Особо стоит обратить внимание на специальный закон, регулирующий область реабилитации природной среды. Речь идет о Законе о содействии восстановлению природы (2002 г.) [8]. В нем излагаются основные принципы и правила проведения реабилитации. Под термином «**восстановление природы**» в законе понимается сохранение и восстановление или создание поддерживающих условий в отношении рек, болот, равнин, морской флоры, лесов, сельских территорий и другой природной среды при участии разных субъектов общества (от государственных до частных). Главным условием реабилитации выступает деградация свойств и функций природной среды в прошлом. Закон прописывает также четкие правила по ведению планов в области восстановления природы. В них обязательно должны быть включены районы, подлежащие реабилитации, ее цели и методы, круг лиц, реализующих план, и срок его реализации.

Страны Северной и Южной Америки

Правовая система **США** в отношении охраны и восстановления окружающей среды строится на принципе ответа на вызов, т.е. регулированию подлежат конкретные экосистемы, которые находятся уже на стадии деградации или которые могут при наступлении определенных условий вступить в эту стадию. Другой особенностью является сохранение уникальных экосистем. Общим же для южноамериканских стран является акцент на лесной сфере. Это обусловлено как уникальными природными условиями Южной Америки, так и преобладанием сельского хозяйства в экономике этих стран. Так, в Лесном кодексе **Бразилии** (2012 г.) [4] прописана норма, обязывающая восстанавливать растительные сообщества в случаях их деградации и в первую очередь на охраняемых и заповедных территориях. А в природоохранном праве **Парагвая** можно найти введение запрета на преобразование лесных территорий в восточной части страны в сельскохозяйственные угодья.

Страны Африки

Отличительная особенность правового регулирования области реабилитации природной среды в странах Африки — наличие критерия целесообразности восстановления. Здесь стоит привести пример одного из развитых государств этого континента — **ЮАР**. В Национальном законе об охране окружающей среды ЮАР (1998) [10] отмечено, что восстановление считается целесообразным только в тех случаях, когда уровень загрязнения приводит к значительному риску, угрозе здоровью людей или состоянию окружающей среды.

Страны Евразии

Теперь снова вернемся к странам Евразии, но к ее европейской части. Здесь отметим опыт Франции, Великобритании, Германии и Испании. Во **Франции** все ключевые моменты правового регулирования охраны окружающей среды собраны в единый свод законов — Экологический кодекс (2000 г.). К наиболее существенным особенностям регулирования вопросов восстановления природы следует отнести закрепление способов реабилитации, а именно самовосстановления и смешанной реабилитации. Согласно кодексу [5], первичная реабилитация направлена на возвращение природных ресурсов в их первоначальное состояние посредством естественной регенерации. В тех случаях, когда самовосстановление не приводит к возвращению в исходное состояние, должны быть предприняты дополнительные меры по реабилитации, обеспечивающие возвращение к наиболее приближенным условиям, т.е. условия до наступления экологического ущерба.

В **Великобритании**, в свою очередь, отмечены не способы реабилитации, а ее алгоритм, что также представляет определенный интерес. В основном Законе об охране окружающей среды (1990 г.) [7] выделены 5 этапов реабилитации загрязненных земель. Первый этап заключается в выявлении загрязненных (зараженных) земель на основе проводимой инвентаризации их состояния. Здесь учитывается общая степень загрязнения. Вторым этапом является объявление выявленных загрязненных земель специальными участками. На данном этапе учитывается содержание загрязненных веществ в почве и грунтовых водах, оценивается общий ущерб, нанесенный земле. В случае превышения пороговых значений по содержанию веществ дается заключение о тяжести загрязнения. Третий этап включает в себя направление уведомления землепользователю с требованием об устранении причиненного ущерба, т.е.

Таблица 1. Правовые особенности реабилитации природной среды в зарубежных странах
Table 1. Legal features of environmental rehabilitation in foreign countries

Континент	Страна	Закон	Обязанность реабилитации	Объект реабилитации (является или может являться объектом)	Понятие реабилитации
Северная Америка	Канада	Об охране окружающей среды (1999 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
		Закон о восстановлении фермерских хозяйств в прериях (1985 г.)	+	Территории, подверженные засухе в провинциях Манитоба, Альберта, Саскачеван	-
	США	Закон о восстановлении рыбных ресурсов и дикой природы Великих озер (1990, 1998, 2006 гг.)	+	Рыбные ресурсы Великих озер, места их обитания, водно-болотные угодья, дикая природа в целом	+
		Закон об океанах (1992 г.)	+	Морские млекопитающие и их места обитания, уникальная морская среда	-
		Закон о восстановлении тропических лесов на Гавайях (1992 г.)	+	Экосистемы тропических лесов Гавайских островов	-
		Закон о восстановлении экосистемы реки Эльва и рыболовства (1992 г.)	+	Экосистема р. Эльва (шт. Вашингтон)	-
		Закон о рекультивации (восстановлении) Солтон-Си (1998 г.)	+	Экосистема озера Солтон-Си в Калифорнии	-
		Закон о восстановлении озера Тахо (2000 г.)	+	Экосистема оз. Тахо и сопредельные территории	-
		Закон о водоснабжении, надежности и улучшении окружающей среды (2004 г.)	+	Залив Сан-Франциско, речные системы Сан-Пабло Бей, Суисун Бэй, Марии, водно-болотные угодья региона и озеро Солтон-Си	-
		Закон о природной территории Рио-Гранде (2006 г.)	+	Природная территории Рио-Гранде (шт. Колорадо), р. Рио-Гранде	-
		Консолидированный закон о природных ресурсах (2008 г.)	+	Особая природная территория в районах нахождения маяков Юпитер (шт. Флорида), Пьедрас Бланкас (шт. Калифорния), экосистема р. Платт (шт. Небраска)	-
		Южная Америка	Бразилия	Закон о национальной экологической политике (1981 г.)	+
Лесной кодекс (2012 г.)	+			Леса в охранной, заповедной зоне	-
Закон об аграрной политике (1991 г.)	+			Территории, подвергшиеся опустыниванию	-
Аргентина	Закон о минимальных мерах по охране окружающей среды местных лесов (2007 г.)		+	Лесные экосистемы	-
	Национальная экологическая политика (общее экологическое право, 2002 г.)		+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-

Продолжение таблицы 1

Континент	Страна	Закон	Обязанность реабилитации	Объект реабилитации (является или может являться объектом)	Понятие реабилитации
Южная Америка	Аргентина	Восстановление окружающей среды в горном районе Рио-Турбио (2001 г.)	+	Территория угольного месторождения Рио-Турбио, провинция Санта-Крус	-
	Уругвай (Восточная Республика Уругвай)	Закон об охране окружающей среды (2000 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	Парагвай	Закон о запрете в Восточном регионе трансформаций и преобразований лесных территорий (2004, 2018 гг.)	+	Леса Восточного региона (левый берег р. Парагвай)	-
		Закон о лесном хозяйстве (1973 г.)	+	Леса и лесные территории	-
		Закон о восстановлении защитных лесов водотоков на территории страны (2010 г.)	+	Защитные леса водотоков Восточного и Западного региона	-
	Закон о водных ресурсах (2007 г.)	+	Водно-болотные угодья	-	
Австралия	Австралия	Закон о Морском парке Большого барьерного рифа (1975 г.)	+	Экосистемы Морского парка Большого барьерного рифа	-
		Закон об охране окружающей среды и сохранении биоразнообразия (1999 г.)	+	Исчезающие виды или виды, находящиеся на грани исчезновения	-
		Закон о воде (2007 г.)	+	Речной бассейн Мюррей — Дарлинг	-
Африка	Египет	Закон об окружающей среде (1994 г.)	+	Территории, подвергшиеся экологической катастрофе	-
	Алжир	Закон о защите окружающей среды в рамках устойчивого развития (2003 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	ЮАР	Закон об охраняемых территориях (2003 г.)	+	Дегradировавшие экосистемы и исчезающие виды	-
		Национальный закон об охране окружающей среды (1998 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
		Закон об отходах (2009 г.)	+	Земли, степень загрязнения которых значительна или представляет угрозу для человека	-
		Закон о национальных лесах (1998 г.)	+	Обезлесенные территории	-
Евразия	Япония	Закон о содействии восстановлению природы (2002 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
		Закон о природных парках (1957 г.)	+	Территории Национальных парков	-

Континент	Страна	Закон	Обязанность реабилитации	Объект реабилитации (является или может являться объектом)	Понятие реабилитации
Евразия	Япония	Основной закон об окружающей среде (1993 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	Китай (КНР)	Лесной закон (2020 г.)	+	Лесные ресурсы, лесные территории	-
		Закон КНР об охране окружающей среды (2014 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	-
	Индия	Закон о биологическом разнообразии (2002 г.)	+	Жизнеспособные популяции видов	-
		Закон об охране окружающей среды (1986 г.)	+	Территории, загрязненные вследствие техногенных аварий	-
	Казахстан	Экологический кодекс (2007 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления), территории, объявленные зоной экологического бедствия	-
	Франция	Экологический кодекс (2000 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления), водные экосистемы, биоразнообразие, водно-болотные угодья	+
	Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии	Новый закон о лесах (1949 г.)	+	Древние и декоративные леса графства Саутгемптон	-
		Закон об угольной промышленности (1994 г.)	+	Земли, подлежащие рекультивации, т.е. территории, входящие в горный отвод	-
		Закон об охране окружающей среды (1990, 1995 гг.)	+	Сильно загрязненные земли	+
	Германия	Федеральный закон о горнодобывающей промышленности (1980 г.)	+	Земли, используемые для добычи полезных ископаемых	+
		Закон о защите почвы (1998 г.)	+	Загрязненные почвы и вода, сельскохозяйственные земли	-
		Закон об ущербе окружающей среде (2007 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+
	Испания	Закон об устойчивом развитии сельских районов (2007 г.)	+	Сельскохозяйственные территории, природная среда, входящая в их состав	-
		Закон об отходах и загрязненной почве (2011 г.)	+	Загрязненные почвы	-
	Португалия	Закон о воде (2005 г.)	+	Водные экосистемы и водно-болотные угодья	-
Закон об основах экологической политики (2014 г.)		+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления)	+	
Швеция	Экологический кодекс (1998 г.)	+	Окружающая среда в целом (общее требование восстановления), ценные места обитания и охраняемые виды животных и растений, зоны экологического риска	+	

о реабилитации техногенно нарушенной территории. Принимая данное уведомление и признавая причиненный ущерб, землепользователь обязывается провести комплекс мер по его устранению. В этом заключается четвертый этап. Последний этап связан с новой оценкой состояния территории и признанием ее пригодной для хозяйственной деятельности.

Переходя к опыту **Германии**, заметим, что для нее приоритетом является восстановление земель после разработки месторождений. Здесь особый интерес представляет Федеральный закон о горнодобывающей промышленности (1980 г.) [13]. В нем в качестве понятия реабилитации используется термин **«восстановление полезности»**, означающий восстановление земли, используемой для добычи, с учетом общественных интересов. Закон предусматривает обязанность недропользователя перед началом работ предоставить органам власти рабочий план, в который включается информация о минеральных ресурсах, которые будут добыты, карта месторождения, перечень планируемых работ на поверхности и/или под землей, а также меры по восстановлению земель после прекращения всех работ. Обязательной частью плана является отчет об оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Для **Испании** же наиболее уязвимым местом является развитие сельских территорий. Поэтому природоохранное законодательство прежде всего направлено на сохранение и восстановление земель данной категории. Закон об устойчивом развитии сельских районов (2007 г.) [9] обязывает как государство, так и частных лиц сохранять и восстанавливать природные ресурсы сельских территорий. Он также прописывает необходимость внедрения **экологического планирования**. Его суть заключается в прогнозировании действий, направленных на охрану почв и грунтовых вод, мер по борьбе с опустыниванием, по лесовосстановлению и предотвращению негативных природных процессов. Подобное планирование возможно как на национальном уровне, так и в отдельном сельском районе. Кроме экологического планирования в Испании распространены программы по охране природы и управлению природными ресурсами. В них предусматриваются меры по сохранению и восстановлению мест обитания видов, находящихся под угрозой исчезновения или имеющих ценное значение, естественно присутствующих на сельской территории.

Заключение

1. Необходимость и важность реабилитации природной среды признается во всем мире. В то же время необходимо учитывать, что уровень развития правовой системы, сознания людей достаточно сильно влияет на степень как загрязнения, так и восстановления окружающей среды.

2. Обобщая существующие в разных странах подходы к определению реабилитации природной среды, можно заключить, что под ней понимается комплекс мер, направленных на восстановление окружающей среды после нанесенного экологического ущерба и улучшение состояния экологически неблагополучных территорий. Такую трактовку можно считать универсальной.

3. Анализ мировой практики (прежде всего Швеции, Австралии, Франции, США, Алжира) показывает, что введение строгого правового режима над некоторыми территориями (создание заповедных или охраняемых зон) производится не только с целью сохранения редких и исчезающих видов животных и растений, но и для создания условий по самовосстановлению природной среды. Такие меры позволяют возродить наиболее чувствительные уголки природы в первоначальном виде.

4. Проведенный анализ особенностей правового регулирования реабилитации природной среды показал, что исследуемые страны можно условно разделить на две категории. Первая — страны с преобладающей системой вертикального природоохранного правового регулирования. Такие страны имеют четко выстроенную законодательную иерархию, а вопросы, касающиеся восстановления экосистем, сначала прописываются в качестве общих положений, которые затем раскрываются в отдельных правовых актах. Вторая группа — страны, ориентированные на горизонтальное природоохранное правовое регулирование. Главная особенность такого подхода заключается в рассмотрении вопросов охраны окружающей среды предметно или ситуативно и практически не прослеживается их строгая иерархия. По подобному принципу устроено и международное экологическое право, что было отмечено нами ранее в работе [1].

5. Данное исследование также показало, что необходимо решить такие задачи, как определение принципов реабилитации природной среды и систематизация направлений восстановления экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмадиев А.К., Экзарьян В.Н. Экологическая безопасность нефтегазовой отрасли: нормативно-правовой аспект // Газовый бизнес. 2019. № 3. С. 48—54.
2. Данилов-Данильян В.И., Рейф И.Е. Биосфера и цивилизация. М.: ООО «Издательство «Энциклопедия», 2016. 432 с.
3. Осипов В.И. Природа и люди // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 1. С. 81—87.
4. Código Florestal (2012) / O Portal da Câmara dos Deputados. 2020. URL: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-norma-pl.html> (дата обращения: 21.04.2020).
5. Code de l'environnement / Légifrance. 2020. URL: https://beta.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074220/2020-03-01/ (дата обращения: 20.03.2020).
6. Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999 / Federal Register of Legislation. 2020. URL: <https://www.legislation.gov.au/Details/C2019C00275> (дата обращения: 20.03.2020).
7. Environmental Protection Act 1990 / Legislation.gov.uk. 2020. URL: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/1990/43/contents> (дата обращения: 05.05.2020).
8. Law for the Promotion of Nature Restoration / Ministry of the Environment Government of Japan. 2020. URL: <http://www.env.go.jp/en/laws/index.html> (дата обращения: 21.04.2020).
9. Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural / Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. 2020. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-21493> (дата обращения: 06.04.2020).
10. National Environmental Management Act / Government of South Africa. 2020. URL: <https://www.gov.za/documents/national-environmental-management-act> (дата обращения: 20.04.2020).
11. The Biological Diversity Act 2002 / India Code. 2020. URL: https://indiacode.nic.in/handle/123456789/2046?view_type=search&sam_handle=123456789/1362 (дата обращения: 21.04.2020).
12. The Environment (Protection) Act 1986 / India Code. 2020. URL: https://indiacode.nic.in/handle/123456789/1876?view_type=search&sam_handle=123456789/1362 (дата обращения: 27.03.2020).
13. Federal Mining Act / Bundesministeriumsder Justiz und für Verbraucherschutz. 2020. URL: http://www.gesetze-im-internet.de/englisch_bbergg/englisch_bbergg.html (дата обращения: 06.04.2020).

REFERENCES

1. Akhmadiev A.K., Ekzaryan V.N. Environmental safety of the oil and gas industry: the legal and regulatory aspect // *Gazovyy biznes* [Gas business]. 2019. № 3. P. 48—54 (In Russian).
2. Danilov-Danilyan V.I., Wraith I.E. Biosphere and Civilization. Moscow: "Encyclopedia Publishing House", 2016. 432 p. (In Russian).
3. Osipov V.I. Nature and people // *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology.]. 2019. № 1. P. 81—87 (In Russian).
4. Código Florestal (2012). O Portal da Câmara dos Deputados. 2020. Available from: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-norma-pl.html> (last accessed: 21.04.2020).
5. Code de l'environnement. Légifrance. 2020. Available from: https://beta.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074220/2020-03-01/ (last accessed: 20.03.2020).
6. Environment Protection Act 1990. Legislation.gov.uk. 2020. Available from: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/1990/43/contents> (last accessed: 05.05.2020).
7. Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999. Federal Register of Legislation. 2020. Available from: <https://www.legislation.gov.au/Details/C2019C00275> (last accessed: 20.03.2020).
8. Law for the Promotion of Nature Restoration. Ministry of the Environment Government of Japan. 2020. Available from: <http://www.env.go.jp/en/laws/index.html> (last accessed: 21.04.2020).
9. Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. 2020. Available from: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-21493> (last accessed: 06.04.2020).
10. National Environmental Management Act. Government of South Africa. 2020. Available from: <https://www.gov.za/documents/national-environmental-management-act> (last accessed: 20.04.2020).
11. The Biological Diversity Act 2002. India Code. 2020. Available from: https://indiacode.nic.in/handle/123456789/2046?view_type=search&sam_handle=123456789/1362 (last accessed: 21.04.2020).
12. The Environment (Protection) Act 1986. India Code. 2020. Available from: https://indiacode.nic.in/handle/123456789/1876?view_type=search&sam_handle=123456789/1362 (last accessed: 27.03.2020).
13. Federal Mining Act. Bundesministeriumsder Justiz und für Verbraucherschutz. 2020. Available from: http://www.gesetze-im-internet.de/englisch_bbergg/englisch_bbergg.html (last accessed: 06.04.2020).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ахмадиев А.К. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Экзарьян В.Н. — инициатор статьи, внес вклад в разработку концепции работы, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Arthur K. Akhmadiev — contributed to the conception of the article, prepared the text of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Vladimir N. Ekzaryan — initiator of the article, contributed to the development of the concept of the paper, finally approved the published version of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ахмадиев Артур Константинович* — преподаватель кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; член Русского географического общества

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: akhmadievak@mgri.ru
тел.: +7 (985) 976-44-06
SPIN-код: 4123-9322
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3388-4354>

Arthur K. Akhmadiev* — Lecturer, Department of Ecology and Nature Management, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting; member of the Russian Geographical Society
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: akhmadievak@mgri.ru
tel.: +7 (985) 976-44-06
SPIN: 4123-9322
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3388-4354>

Экзарьян Владимир Нишанович — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный эколог России, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: ekzaryanvn@mgri.ru
тел.: +7 (967) 241-53-48
SPIN-код: 7968-3231
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

Vladimir N. Ekzaryan — Professor, Dr. of Sci. (Geol. and Mineral.), Honored Ecologist of Russia, Head of the Department of Ecology and Nature Management of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: ekzaryanvn@mgri.ru
tel.: +7 (967) 241-53-48
SPIN: 7968-3231
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОЛЕГ СТЕПАНОВИЧ БРЮХОВЕЦКИЙ

(К 80-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

21 апреля 2021 года исполнилось 80 лет профессору кафедры «Горное дело», доктору технических наук Олегу Степановичу Брюховецкому.

О.С. Брюховецкий — крупный ученый и специалист в области гидравлики и гидрофизических процессов в геолого-разведочном и горном деле, опытный организатор подготовки кадров, видный общественный деятель.

Окончив с отличием в 1964 г. Московский государственный геологоразведочный институт (МГРИ), Олег Степанович в течение 57 лет работает в родном вузе, занимая различные должности: от младшего научного сотрудника до первого проректора; от старшего преподавателя до заведующего кафедрой.

В 1968 г. он защитил кандидатскую и в 1991 г. — докторскую диссертацию. О.С. Брюховецкий — инициатор и создатель в университете кафедры «Гидравлика и гидрофизические процессы геолого-разведочных и горных работ», двух учебно-научных лабораторий и специализации «Комплексное использование водных ресурсов при освоении недр». По его инициативе в составе университета были созданы новые ор-

ганизационные структуры: «Научно-исследовательский институт природопользования» «Центр научно-технической и экологической экспертизы горно-геологических работ». Им проведена большая организационная работа по получению университетом статуса «Российский».

Широкую известность получили международные научные конференции «Новые идеи в науках о Земле», «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых», «Молодые – наукам о Земле», проводимые в стенах РГГРУ. О.С. Брюховецкий более 15 лет был организатором и активным участником этих конференций, в которых ежегодно принимали участие свыше 1500 отечественных и зарубежных ученых, специалистов и студентов.

При активном участии О.С. Брюховецкого разработана Стратегия и Приоритетные направления развития университета на ближайшие годы.

О.С. Брюховецкий является основателем научной школы по Комплексному использованию водных ресурсов в недропользовании; автором более 390 научных работ, в том числе 30 монографий,

учебников, учебных пособий, 25 авторских свидетельств на изобретения, 6 патентов РФ; им подготовлено 8 кандидатов и 2 доктора наук.

Круг его научных интересов широк: это и комплексные задачи горно-геологических технологий, решаемые с привлечением методов гидравлики, гидрофизических теорий и экспериментов; гидросмеси минерального вещества и различные формы их движения в геотехнических системах; а также бинарные геофизические технологии; скважинные волоконно-оптические измерительные системы; проблемы глубокой переработки угля и др.

Значительную часть своей творческой жизни он посвятил решению научно-технических проблем на ряде предприятий среднего машиностроения (Навоийский ГМК, Узбекистан; СГАО-«Висмут», ГДР; Приаргунский ГХК) на предприятиях черной (КМА) и цветной (СУБР, Салаирский рудник, Гайский ГОК) металлургии.

О.С. Брюховецкий вел и продолжает вести большую общественную работу, являясь членом трех советов по присуждению ученых степеней, действительным членом Российской академии

естественных наук, заместителем руководителя геолого-разведочного отделения РАЕН, входит в состав редакционной коллегии «Горного журнала»; является почетным профессором Ляонинского технического университета (КНР).

За большой вклад в развитие теории и практики горных наук, подготовку кадров для геолого-разведочной и горной отраслей промышленности Олег Степанович Брюховецкий награжден государственными наградами: он заслуженный деятель науки Российской Федерации, награжден орденом Почета; Почетной грамотой Президента Российской Федерации; медалью «Ветеран труда»; медалью «В память 850-летия Москвы»; отмечен многочисленными отраслевыми наградами, знаками и званиями, в том числе почетным знаком «Шахтерская слава» всех трех степеней, «За заслуги в разведке недр» 1 степени.

Сердечно поздравляя Олега Степановича Брюховецкого со знаменательной датой, желаем ему крепкого здоровья, творческих успехов и плодотворной научной и педагогической деятельности на благо университета.

Коллектив МГРИ



ВИКТОР ГЕОРГИЕВИЧ ПРОНИН

18.06.1939–19.05.2021

19 мая 2021 года на 82-м году жизни скончался известный российский геолог Виктор Георгиевич Пронин.

Виктор Георгиевич родился 18 июня 1939 г. После окончания с отличием в 1962 г. МГРИ пришел на работу в 11-ю экспедицию «Аэрогеология». Работал в должности геолога, ведущего геолога и начальника партии.

Проявил себя высококлассным стратиграфом, специалистом по юре, мелу, палеогену, неогену и квартеру. Объектом его изучения являлись нефтесперспективные структуры Западного Казахстана в пределах Мангышлака и Северного Устюрта, а также Узбекистана (Каракалпакия) и Туркменистана.

Автор большого количества отчетов по крупномасштабной групповой (1 : 50 000) и среднемасштабной (1 : 200 000) геологической съемке, по материалам которых было издано несколько важных публикаций. Целью работ являлось геологическое картирование, а также структурное картирование юрских нефтемещающих отложений.

В 1972 г. защитил в МГРИ диссертацию «Мынсуалмасская система дислокаций и ее место в структурном плане Северного Устюрта» на ученую степень кандидата геолого-минералогических наук. Оригинальное, нетрадиционное мышление и огромный опыт полевого геолога давали обширный материал для обсуждений и публикаций по стратиграфии и фациальному анализу, заставляли

коллег критически переосмысливать иногда глубоко укоренившиеся представления. Работа в малонаселенных, часто не исследованных районах приводила к потрясающим находкам ископаемой фауны, в том числе позвоночных, а также археологических местонахождений.

В 1980-е гг. в качестве начальника партии Виктор Георгиевич организовывал и проводил работы по космоструктурному и космофотогеологическому картированию территорий Северного Казахстана. С 1987 по 1989 г. изучал геологическую природу импактного кратера Жаманшын в Северном Приаралье.

В начале 2000-х гг., продолжая работать в ФГУНПП «Аэрогеология», был ответственным исполнителем работ по ГДП-200 в Ростовской области и первой группы листов ГК-1000\3. В 2006–2007 гг. занимался разведкой бокситов в Архангельской области, а в 2008–2010 гг. — разведкой на цементное сырье в Ростовской области.

Последней его работой стала статья «Средне- и верхнемиоценовые отложения и фации Северного Устюрта (Западный Казахстан)», написанная по материалам геологических съемок 1970–1980-х гг., которая должна быть опубликована в журнале «Геология. Геофизика» в текущем году.

Виктор Георгиевич был прекрасным человеком и учителем для нескольких поколений молодых специалистов-геологов. Светлая память о нем навсегда останется в сердцах его друзей и коллег.

