



# ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3(51) ♦ 2022  
Июль –  
сентябрь

## Главный редактор –

Акад. РАН М. И. Эпов (Новосибирск)

## Редакционная коллегия

Свинын В. Ф., отв. редактор, зам. гл. редактора (Новосибирск)  
Афанасенков А. П., д.г.-м.н. (Москва)  
Брехунцов А. М., д.г.-м.н. (Тюмень)  
Варламов А. И., д.г.-м.н. (Москва)  
Герт А. А., д.э.н. (Новосибирск)  
Жаркова В., д.ф.-м.н., проф. (Ньюкасл, Великобритания)  
Зайнидинов Х., д.т.н. (Ташкент, Узбекистан)  
Конторович А. Э., акад. РАН (Новосибирск)  
Крюков В. А., акад. РАН (Новосибирск)  
Мельников Н. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)  
Похиленко Н. П., акад. РАН (Новосибирск)  
Птицын А. Б., д.г.-м.н. (Чита)  
Сейфуль-Мулюков Р. Б., д.г.-м.н., проф. (Москва)  
Собисевич А. Л. чл.-кор. РАН (Москва)  
Тригубович Г. М., д.т.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск)  
Шапорина М. Н., к.г.-м.н., ответственный секретарь (Новосибирск)  
Шацкий В. С., акад. РАН (Новосибирск)  
Шин Е. Ч., проф. (Инчхон, Республика Корея)

## Редакционный совет

Алексеев Г. Ф., к.т.н. (Кемерово)  
Бакиев С., д.г.-м.н., проф. (Ташкент, Узбекистан)  
Будников И. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)  
Васильев В. И., к.г.-м.н. (Иркутск)  
Гармаев Е. Ж., чл.-кор. РАН (Улан-Удэ)  
Глинских В. Н., чл.-кор. РАН (Новосибирск)  
Девятов В. П., д.г.-м.н. (Новосибирск)  
Ефимов А. С. (Новосибирск)  
Жуков К. А., к.э.н. (Новосибирск)  
Клишин В. И., чл.-кор. РАН (Кемерово)  
Конторович В. А., чл.-кор. РАН (Новосибирск)  
Ларичев А. И., к.г.-м.н. (Санкт-Петербург)  
Мигурский А. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)  
Поляков А. А. (Москва)  
Сальников А. С., д.г.-м.н. (Новосибирск)  
Смирнов Е. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)  
Смирнов М. Ю., к.г.-м.н. (Москва)  
Татьянин Г. М., к.г.-м.н. (Томск)  
Филипцов Ю. А., д.г.-м.н. (Красноярск)  
Черных А. И., к.г.-м.н. (Москва)  
Шиганова О. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)  
Эдер Л. В., д.э.н. (Москва)

## Редакция

Воронина Т. А.  
Изотова Е. С.  
Карпунин А. Г.

Адрес редакции, учредителя  
и издателя: 630091, Новосибирск,  
Красный проспект, 67  
Тел./факс (383) 230-94-05  
E-mail: svinyinf@rusgeology.ru  
www.jourgimss.ru

## Содержание

### Нефтегазовая геология

Ф. А. Мигурский. Геодинамика каледонской Байкало-Патомской складчатой области и ее влияние на нефтегазоносность Предпатомского перикратонного прогиба..... 3  
В. П. Девятов. Эволюция терригенного седиментогенеза (С<sub>3</sub>-К) Лено-Хатангского междуречья (север Сибирской платформы) ..... 17  
П. Н. Соболев, С. В. Дыхан. Нефтегазоматеринские породы и проблема нефтегазоносности Алдано-Майской впадины (юго-восток Сибирской платформы) ..... 30

### Геофизика, геофизическое приборостроение

Е. Н. Махнач, А. В. Мамаева. Прогноз скрытого оруденения в пределах северного склона Алданской антеклизы по данным электроразведки и гравимагнитных полей ..... 39

### Литология, петрография, минералогия, геохимия

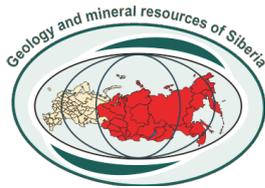
А. И. Гусев. Петро-геохимия субвулканических и экструзивных образований Кедрово-Коргончиковского района Горного Алтая ..... 45  
А. Е. Мальцев, В. А. Бычинский, С. К. Кривоногов, Г. А. Леонова, Л. В. Мирошниченко, А. С. Шавекин, С. Ф. Нечепуренко. Геохимия раннего диагенеза лимногляциальных отложений на примере озер Норило-Пясинской водной системы (Российская Арктика) ..... 55

### Минерагения, рудные и нерудные месторождения

В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев, Т. В. Кашубина, Н. А. Галёва. К изучению связи размещения рудных узлов минерагенических провинций Приамурья с особенностями глубинного строения верхней коры на Восточно-Становом фрагменте опорного геолого-геофизического профиля 8-ДВ ..... 72  
Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев. Роль древнего карста в формировании месторождения урана (Горная Шория) ..... 85

### Гипотезы и дискуссионные материалы

П. П. Нагевич, Е. В. Сергеева, Г. И. Карпизина. Эталонная сетка разломов Земли и ее отражение в направлении и конфигурации русел рек..... 92  
Наши авторы ..... 99



# GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

N3(51) ♦ 2022

July –  
September

## Editor

Acad. RAS M.I. Eпов (Novosibirsk)

## Editorial board:

*Svinyin V.F.*, executive editor, associated editor, Novosibirsk  
*Afanasenkov A.P.* (Moscow)  
*Brekhuntsov A.M.*, DSc (Tyumen)  
*Gert A.A.*, DSc (Novosibirsk)  
*Kontorovich A.E.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Kryukov V. A.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Melnikov N.V.*, DSc (Novosibirsk)  
*Pokhilenko N.P.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Ptitsyn A.B.*, DSc (Chita)  
*Shaporina M. N.*, PhD, executive secretary (Novosibirsk)  
*Shatskiy V. S.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Shin E.Ch.*, PhD, prof. (Incheon, Republic of Korea)  
*Seiful'-Mulyukov R.B.*, DSc, prof. (Moscow)  
*Sobisevich A. L.*, corr. memb. RAS (Moscow)  
*Trigubovich G.M.*, DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)  
*Varlamov A.I.*, DSc (Moscow)  
*Zainidinov Kh.*, DSc (Tashkent, Uzbekistan)  
*Zharkova V.*, DSc, prof. (Newcastle, United Kingdom)

## Editorial council:

*Alekseev G.F.*, PhD (Kemerovo)  
*Bakiev S.*, DSc, prof. (Tashkent, Uzbekistan)  
*Budnikov I.V.*, PhD (Novosibirsk)  
*Chernykh A.I.*, PhD (Moscow)  
*Devyatov V.P.*, DSc (Novosibirsk)  
*Eder L. V.*, DSc (Moscow)  
*Efimov A.S.* (Novosibirsk)  
*Filipptsov Yu.A.*, DSc (Krasnoyarsk)  
*Garmayev Ye.Zh.*, corr. memb. RAS (Ulan-Ude)  
*Glinskikh V.N.*, corr. memb. RAS (Novosibirsk)  
*Klishin V.I.*, corr. memb. RAS (Kemerovo)  
*Kontorovich V.A.*, corr. memb. RAS (Novosibirsk)  
*Larichev A.I.*, PhD (St. Petersburg)  
*Migurskiy A.V.*, DSc (Novosibirsk)  
*Polyakov A. A.* (Moscow)  
*Salnikov A. S.*, DSc (Novosibirsk)  
*Shiganova O.V.*, PhD (Novosibirsk)  
*Smirnov E.V.*, PhD (Novosibirsk)  
*Smirnov M.Yu.*, PhD (Moscow)  
*Tatyanin G.M.*, PhD (Tomsk)  
*Vasilyev V.I.*, PhD (Irkutsk)  
*Zhukov K.A.*, PhD (Novosibirsk)

## Editorial staff

*Voronina T.A.*  
*Izotova E.S.*  
*Karpunin A.G.*

## Content

### Petroleum Geology

- F. A. Migurskiy.* Geodynamics of the Caledonian Baik-Patom folded region and its influence on the petroleum potential of the Pre-Patom pericratonic trough ..... 3  
*V. P. Devyatov.* Evolution of terrigenous sedimentogenesis (C<sub>3</sub>-K) of the Lena-Khatanga interfluvium (north of the Siberian platform) ..... 17  
*P. N. Sobolev, S. V. Dykhan.* Oil-and-gas source rocks and the problem of petroleum potential of the Aldan-Maya Depression (south-east of the Siberian Platform) ..... 30

### Geophysics, Geophysical Industry

- E. N. Makhnach, A. V. Mamaeva.* The forecast of hidden ore mineralization within the northern slope of the Aldan Anticline according to the data of electric exploration and gravimagnetic fields ..... 39

### Lithology, Petrography, Mineralogy, Geochemistry

- A. I. Gusev.* Petro-geochemistry of subvolcanic and extrusive formations of the Kedrovo-Korgonchikovskiy district of the Gornyy Altai ..... 45  
*A. E. Maltsev, V. A. Bychinsky, S. K. Krivonogov, G. A. Leonova, L. V. Miroshnichenko, A. S. Shavekin, S. F. Nechepurenko.* Geochemistry of the early diagenesis of limne-glacial deposits on the example of lakes of the Norilo-Pyasinskaya water system (Russian Arctic) ..... 55

### Minerogenesis, ore and non-metallic mineral resources

- V. M. Solovyev, A. S. Salnikov, V. S. Seleznev, T. V. Kashubina, N. A. Galyova.* To study the distribution of ore clusters of the Amur river region minerogenic provinces with the deep structure features of the upper crust on the East-Stanovoy fragment of the reference geological and geophysical profile 8-DV ..... 72  
*G. I. Dyachenko, G. E. Aseev.* The role of ancient karst in the formation of uranium deposit (Gornaya Shoriya) ..... 85

### Controversial Issues and Hypotheses

- P. P. Nagevich, E. V. Sergeeva, G. I. Karpizina.* Reference grid of Earth faults and its reflection in the direction and configuration of riverbeds ..... 92  
Our authors ..... 100



## ГЕОДИНАМИКА КАЛЕДОНСКОЙ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ПРЕДПАТОМСКОГО ПЕРИКРАТОННОГО ПРОГИБА

Ф. А. Мигурский

Вероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва, Россия

Полученные в последние годы материалы глубинных сейсмических наблюдений МОГТ по р. Витим, результаты нескольких полевых сезонов, привлечение данных по глубинному строению складчатых поясов мира и использование результатов физического моделирования позволили построить трехмерную геодинамическую модель Байкало-Патомской складчатой области и связанного с ней Предпатомского перикратонного прогиба. Основные ее характеристики: надвигово-поддвиговый характер, многочисленные в различной степени преобразованные дуплексные сгуживания, каледонский возраст, весьма высокая степень денудированности в южной части, уничтожившей в районе оз. Байкал верхние аллохтонные надвиговые пластины и обнажившей узкие глубинные корневые зоны, широкое развитие метагенетических процессов, сформировавших тектонокластические толщи. Аналоги месторождений УВ в южной части перикратонной области, в том числе таких гигантов, как Ковыктинское газоконденсатное, могут быть обнаружены севернее в автохтонных базальных терригенных вендских продуктивных горизонтах под аллохтонными пластинами. Латеральные перемещения крупных тектонических пластин, миграция флюидов на расстояние свыше 200 км позволяют подтвердить представления о высоких нефтегазовых перспективах авто- и аллохтонных интервалов осадочного чехла Предпатомской нефтегазональной области.

**Ключевые слова:** Байкало-Патомская складчатая область, Предпатомский перикратонный прогиб, Предпатомская нефтегазональная область, геологическая съемка, геодинамическая модель, перспективы нефтегазональности.

## GEODYNAMICS OF THE CALEDONIAN BAIKAL-PATOM FOLDED REGION AND ITS INFLUENCE ON THE PETROLEUM POTENTIAL OF THE PRE-PATOM PERICRATONIC TROUGH

F. A. Migurskiy

All-Russian Petroleum Research Exploration Institute, Moscow, Russia

A three-dimensional geodynamical model of the Baikal-Patom folded region and associated Pre-Patom pericratonic trough was developed using materials obtained in recent years from deep seismic observations of the CDPM along the Vitim River, results of several field seasons, involving data on the deep structure of folded belts of the world as well as the results of physical modeling. Its main characteristics are thrust-underthrust character, numerous, to varying degrees reworked duplex pileups, the Caledonian age, a very high degree of denudation in the southern part, which destroyed the upper allochthonous thrust plates in the area of Lake Baikal and exposed narrow, deep, root zones, extensive development of metagenetic processes that formed tectonoclastic strata. Analogues of hydrocarbon deposits in the southern part of the pericratonic area, including such giants as the Kovyktinskoye gas condensate field, can be found further north in autochthonous basal terrigenous Vendian productive horizons under allochthonous plates. Lateral movements of large tectonic plates, fluid migration over a distance of over 200 km allow researchers to confirm the high oil-and-gas prospects of the auto- and allochthonous intervals of the sedimentary cover of the Pre-Patom petroleum area.

**Keywords:** Baikal-Patom folded region, Pre-Patom pericratonic trough, Pre-Patom petroleum area, geological survey, geodynamical model, oil-and-gas prospects.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-3-16

Байкало-Патомская складчатая область в соответствии с тектоническими картами ВСЕГЕИ 2014 г. расположена на юго-востоке Сибирской платформы. Согласно тектоническому и нефтегазогеологическому районированию СНИИГГиМС (2019 г.) ее северо-западная часть наполовину перекрывает контуры Предпатомского регионального (перикратонного [13]) прогиба и, соответственно, Предпатомской нефтегазональной области. На протяжении последних десятилетий по мере поступления новых геолого-геофизических данных различные оценки перспектив нефтегазональности этой территории

постоянно увеличивались, не будучи подкреплены достоверными геологическими моделями [13]. Степень изученности и сложный характер дислоцированности до последнего времени не позволяли создать адекватную тектоническую модель юго-востока Сибирской платформы и ее складчатого обрамления, основываясь исключительно на местных наблюдениях.

В первых исследованиях Прибайкальских гор П. А. Кропоткин, И. Д. Черский, В. А. Обручев обосновали точку зрения о древнейшем докембрийском возрасте пород. На ее основе Э. Зюсс

в начале XX в. сформулировал модель так называемого Древнего теменн Ази. В соответствии с ней наиболее ранними образованиями Азии были кристаллические в Южной Сибири, на периферийных позднейших опусканиях которых формировались осадочные слои палеозойской платформы. Это мнение легло в основу тектонической школы отечественных геологов, которую можно назвать школой Зюсса–Обручева.

Несколькими годами позже Луи де Лоне выдвинул противоположную гипотезу, применив к территории, выделяемой в границах, близких к сегодняшним границам Сибирской платформы, термин «примитивная платформа» (или первичная платформа). Именно ее он считал древнейшим образованием, по окраинам которого позже формировались разновозрастные складчатые пояса. Юго-восточная периферия в таком случае имела каледонский возраст, поскольку дислоцированными оказались образования силура и, вероятно, девона. Этих взглядов в дальнейшем придерживались такие видные геологи, как А. А. Борисяк, М. М. Тетяев, Н. С. Шатский. Последний в 1936 г. сформулировал важнейший тезис: «...Огромная область, ограничивающая платформу с юго-востока и юга, одними учеными считается аналогом древних докембрийских щитов типа Балтийского; другими доказываются, что она представляет более молодое образование – складчатую зону каледонского возраста. Для понимания тектоники платформы этот вопрос является по существу одним из основных» [20].

Именно Николай Семенович Шатский, хотя и являлся последователем этой школы, пересмотрел возраст складчатости региона в сторону его удревнения относительно взглядов де Лоне. Он выдвинул предположение о байкальском орогенезе, предшествующем кембрийскому периоду, тем самым совершив первый шаг в сторону гипотезы Зюсса. Хотя в то время уже было известно о многочисленных находках археоциат в Байкало-Патомском нагорье, акад. Н. С. Шатский, основываясь на наличии под кембрийскими «ленскими» известняками грубообломочных образований ушаковской свиты, которые он справедливо считал синорогенными, сделал предположение о докембрийско-раннекембрийском тектогенезе в условиях островного моря [10, 20]. Его последователи стали считать байкальскую складчатость сугубо позднедокембрийской [4, 10], тем самым практически вернувшись к гипотезе Обручева–Зюсса. Некоторые исследователи продолжали доказывать каледонский возраст, но не всей складчатой области, а лишь ее фрагментов, основываясь преимущественно на увеличении количества находок раннепалеозойской фауны в результате съемочных работ [3]. При этом все созданные до 1980-х гг. модели подразумевали «фиксистский» геосинклинальный характер развития складчатой области, предполагавший к тому же возможности так называемых тектоно-магматических активиза-

ций. С учетом считающихся до сегодняшних дней неоспоримо архей-карельскими возрастными массивов кристаллических высокометаморфизованных толщ это практически целиком выхолостило первоначальные идеи де Лоне о полностью каледонском возрасте единого складчатого пояса, оставив такую возможность лишь для его локальных фрагментов [4, 7, 8, 25, 30].

Авторы отдельных, более современных, работ с применением понятий плитной тектоники (литосферные блоки, плюмы и т. п.) продолжают доказывать глубокие корни тектоно-вулканогенных структур значительных и определяющих частей Байкало-Патомского складчатого пояса, тем самым отрицая «масштабные горизонтальные перемещения литосферных блоков» [5].

В большей степени обоснованными и во многом соответствующими представлениям автора статьи выглядят исследования, предполагающие значительные надвигания шарьяжных пластин [1, 16]. При этом, вероятно, у авторов указанных работ не было необходимых геофизических данных, что не позволило им увязать особенности закартированных геологической съемкой тектоно-метаморфогенных зон в единой складчато-надвиговой модели Байкало-Патомского пояса.

В части современных исследований присутствуют подобные противоречия [7]. С одной стороны, признается значительная надвиговая составляющая структуры орогена, с другой – устанавливается автохтонный корневой характер его важнейшей части: считающегося древним карельского Ачитканского вулканогенного (складчатого) пояса и архейских блоков фундамента в его составе и вне его [15, 25]. Сама Байкало-Патомская складчатая область в этих трудах представляет собой, вероятно, бессистемную мозаику фрагментов карельской, байкальской, каледонской складчатости и архейского фундамента, изменяющую конфигурацию даже в разных работах одних и тех же авторов [7, 25].

Как итог, Байкало-Патомская складчатая область, по представлениям сотрудников ВСЕГЕИ, сформировалась до начала рифея и была затем тектонически переработана (?) в каледонскую эпоху [3]. Фактически в главных чертах эти современные представления являются возвратом к взглядам школы Зюсса–Обручева и существенно противоречат стадийности цикла Уилсона, плитотектонической теории в целом и материалам полевых наблюдений последних лет. Складчато-надвиговая модель глубинного строения территории в виде геологического разреза с элементами нефтегазоносности (лист О-49 ГК-1000 третьего поколения, ВСЕГЕИ), вероятно, по этой причине отличается весьма поверхностной проработкой [9, 13].

Попытка соединить разрозненные и плохо согласованные представления отечественных геологов на основе западных плитотектонических построений [23], видимо, также не может быть признана



удачной, поскольку результирующие разрезы, выводящие на поверхность фундамент в зоне хинтерленда, противоречат геофизическим данным и закономерностям строения складчатых поясов [21, 28].

Во многом перечисленные проблемы носят объективный характер и объясняются особенностями геологии описываемого региона. В отличие от более молодых хорошо изученных складчатых областей мира [21, 28], осадочный чехол Предпатомского прогиба и особенно Байкало-Патомской складчатой области в значительной степени сложен палеонтологически проблемно коррелируемыми древними толщами, вероятно позднепротерозойского возраста. Седиментогенная слоистость часто слабо выражена, в большинстве случаев уничтожена последующими тектоно-метаморфическими процессами, широко проявленным прогрессивным и регрессивным метаморфизмом. Картирование и стратиграфическая корреляция подобных образований выполнены во многом на основе литологических сопоставлений. Значительную путаницу вносят не совсем корректные интерпретации датировок абсолютного возраста.

До настоящего времени, несмотря на широко признаваемое масштабное надвигообразование [1, 9, 13], не установлены глубины погружения кровли кристаллического фундамента под надвиги. Отсутствуют представления о морфологии и количестве надвиговых пластин, их толщинах и глубинном строении. Слабо изучены масштабы надвигания складчатых образований на осадочный чехол. Минимальны данные о глубинном поднадвиговом составе и строении автохтона.

При этом геологами-съемщиками закартированы и районированы основные блоки разновозрастных в различной степени метаморфизованных образований, характеризующихся резко различающейся минерацией, набором осадочных, магматических и метаморфических формаций [9].

На значительной части территории установлен надвиговой характер тектонического сочленения этих блоков. Результаты геолого-тектонической интерпретации имеющихся опубликованных данных и собственных полевых наблюдений в бассейнах рр. Большая Чуя, Чая и Чечуй по берегам оз. Байкал и прилегающих районов доказывают широкое развитие поддвигов – обратных (со стороны чехла платформы) надвигов [11, 12]. Это можно проиллюстрировать построенной нами геологической моделью вдоль профиля точечных сейсмических зондирований (ТСЗ) III–III вкрест простирания фаса Байкало-Патомского нагорья (рис. 1).

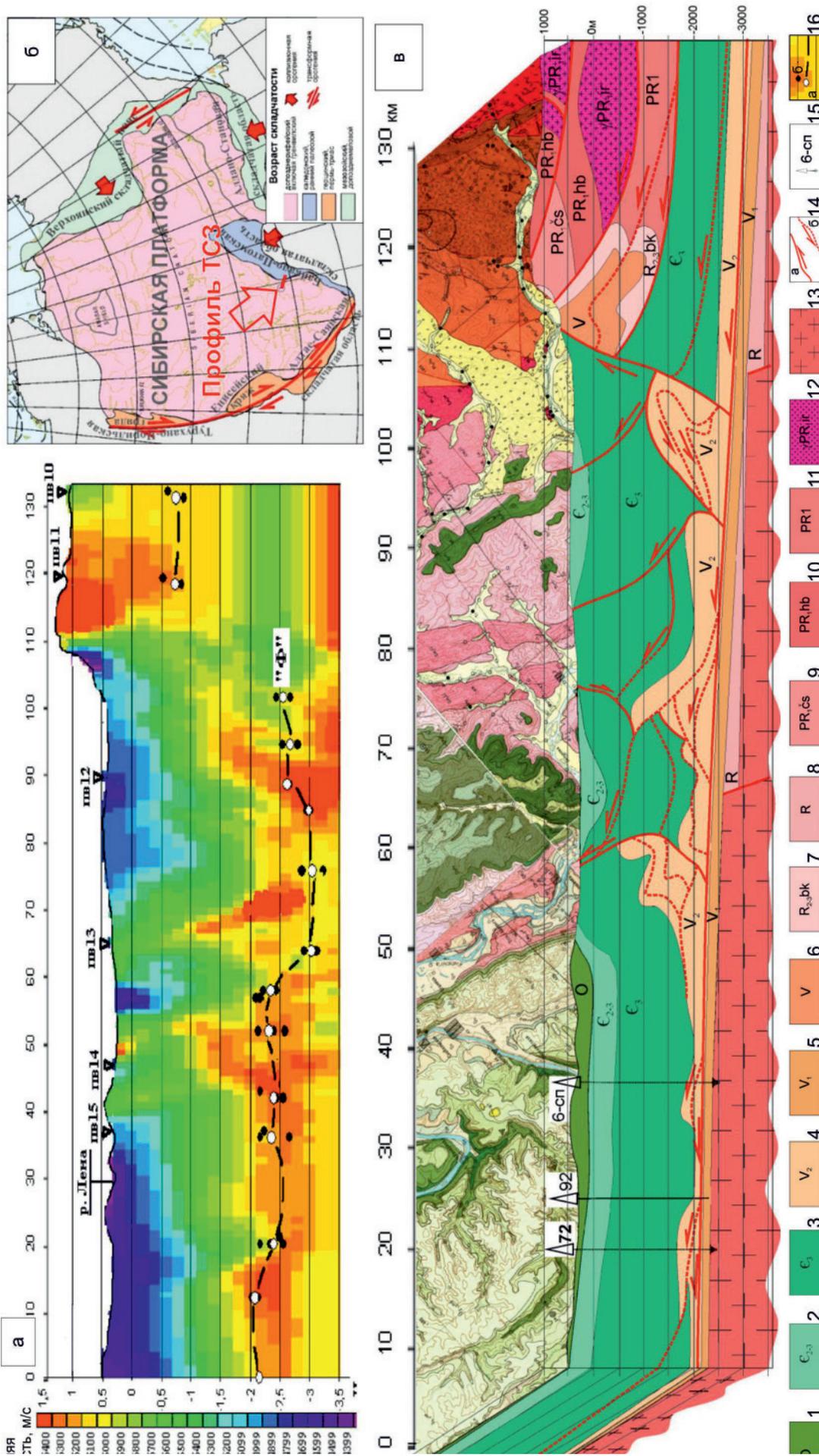
Основные особенности геологического строения изученной территории определяются сгруживанием компетентных толщ верхневендско-нижнекембрийских карбонатов при пластичном облекании сформированных дуплексных структур галогенными породами. Другая ситуация, характерная для Предпатомского прогиба, – нагнетание солей

в ядра жестких карбонатных складок. Часто такие раздвиги ошибочно интерпретируются как результат диапиризма, являясь на самом деле следствием начальной стадии формирования валов и дуплексов сгруживания. Подобная структурная эволюция при дальнейшем развитии сопровождается формированием большого количества обратных элементов залегания, связанных с лежащими крыльями опрокинутых антиклиналей и висячими крыльями лежащих синклиналей и т. п.

Опрокинутое залегание слоев достаточно уверенно диагностируется по характеру сочленения и соотношению разновозрастных пород, а особенно по перевернутому характеру строматолитовых построек и мелких водорослевых текстур. Карбонаты и дуплексные сгруживания характеризуются зонами повышенных скоростей на разрезах ТСЗ. Относительно пониженные скорости свойственны соленосным и выщелоченным толщам нижнего кембрия и, возможно, образованиям более молодого возраста. Дуплексы, сформированные сгруживаниями жестких карбонатных толщ по системе надвигов и поддвигов, часто имеют в своем составе лежащие и опрокинутые складки. Подобные структуры обнажены в предгорной области, где они плохо интерпретируются вследствие высокой степени нарушения. Наглядно такие формы выражены в более молодых нижнекембрийских толщах на удалении от фаса нагорья в долинах крупных рек (рис. 2).

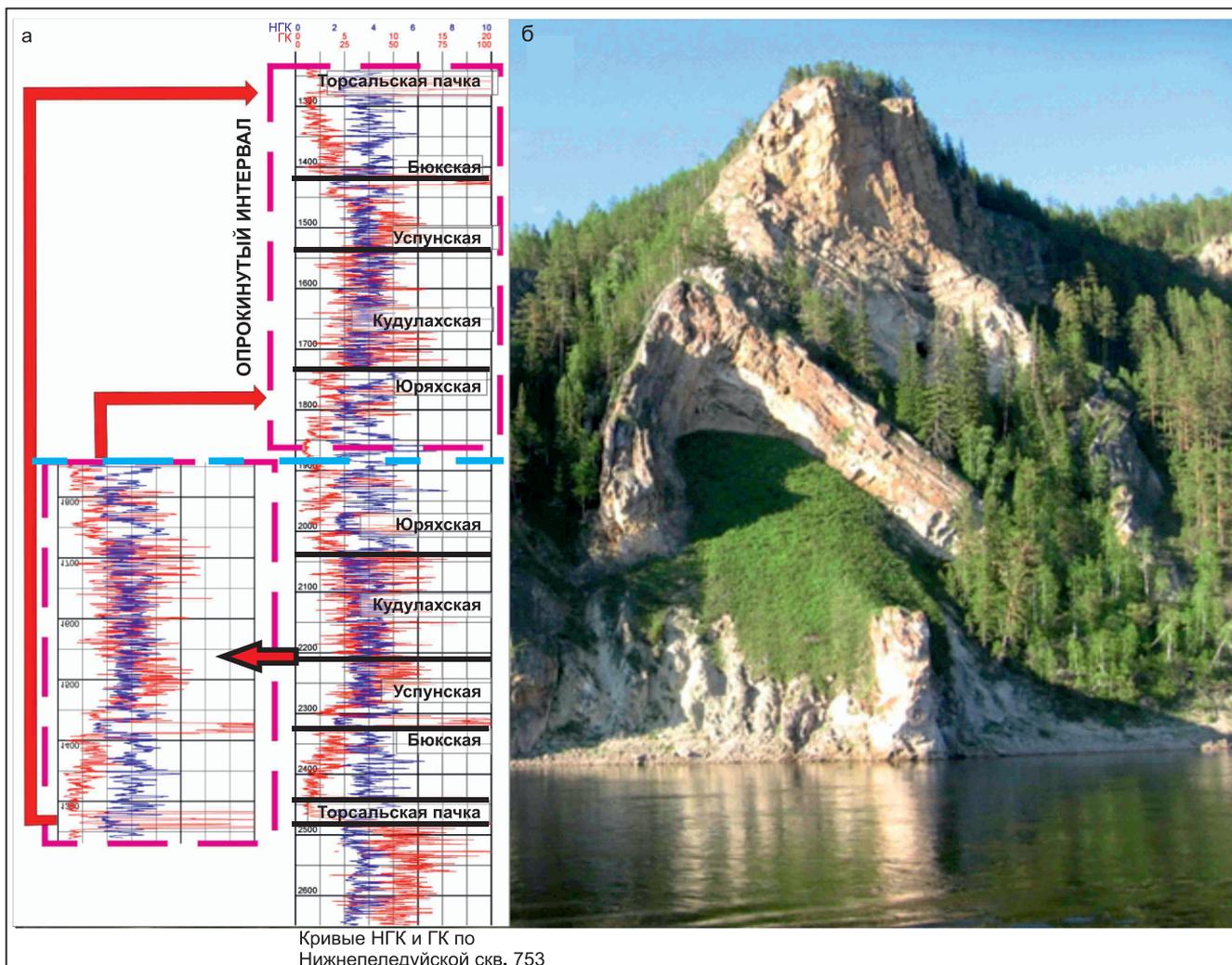
На разрезах ТСЗ (см. рис. 1) зафиксирована отражающая сейсмические волны поверхность на глубине около 1,5 км под складчатыми образованиями Байкало-Патомской складчатой области. Ниже этой поверхности упругие колебания распространяются слабо, что, вероятнее всего, говорит о наличии менее скоростных пород под высокоскоростной кристаллической пластиной. Полученные результаты хорошо увязываются с представлениями о шарьяжной природе Аkitканского «поднятия» [1] и позволяют количественно оценить толщину надвинутых пластин в 1,5–2 км. При этом, как и для других шарьяжей, фронт надвига имеет вдвиговое, инденторное строение, и индентор до настоящего времени, видимо, не уничтожен денудацией. Ограничение инденторной зоны или вдвигового клина подчеркивается голоустенскими кварцитами, фиксируемыми вдоль всего фаса южной и центральной частей нагорья [12]. Таким образом, данные ТСЗ после учета геологических особенностей строения Предпатомского прогиба могут быть весьма информативными, что позволит достаточно обоснованно ответить на многие вопросы касательно его тектоники.

Раннепалеозойский (вероятно, ордовик-силурийский возраст) главной фазы активных коллизионных событий Байкало-Патомского складчатого пояса может быть с высокой долей уверенности установлен в соответствии с наиболее точно определенным ордовик-силурийским абсолютным возрастом в значительной степени мигматитового



**Рис. 1.** Геологическая модель вдоль профиля ТСЗ III–III вкостр простирания фаса Байкало-Патомского нагорья: а – профиль ТСЗ III–III (ПГО «Иркутскгеофизика», 1989); б – положение профиля ТСЗ на обзорной карте; в – геологическая модель по профилю ТСЗ III–III

Отложения: 1 – ордовикские преимущественно терригенные, 2 – средне-верхнекембрийские карбонатно-терригенные, 3 – нижнекембрийские соленосно-карбонатные, 4 – верхневендские карбонатные, 5 – нижневендские терригенные, 6 – вендские нерасчлененные; 7 – рифейский байкальский комплекс терригенно-карбонатный; 8 – рифей нерасчлененный; 9 – чайская свита, нижний протерозой, вулканогенно-терригенная; 10 – хибелинская свита, нижний протерозой, преимущественно вулканогенная; 11 – нижний протерозой нерасчлененный; 12 – ирельский комплекс гранитоидов, нижний протерозой; 13 – кристаллический фундамент платформ; 14 – сместители разломов с направлением смещения; а – интерпретируемые по данным геологической съемки и ТСЗ, б – предполагаемые; 15 – глубокие скважины; 16 – отметки преломляющей границы: а – средние, б – наблюдаемые



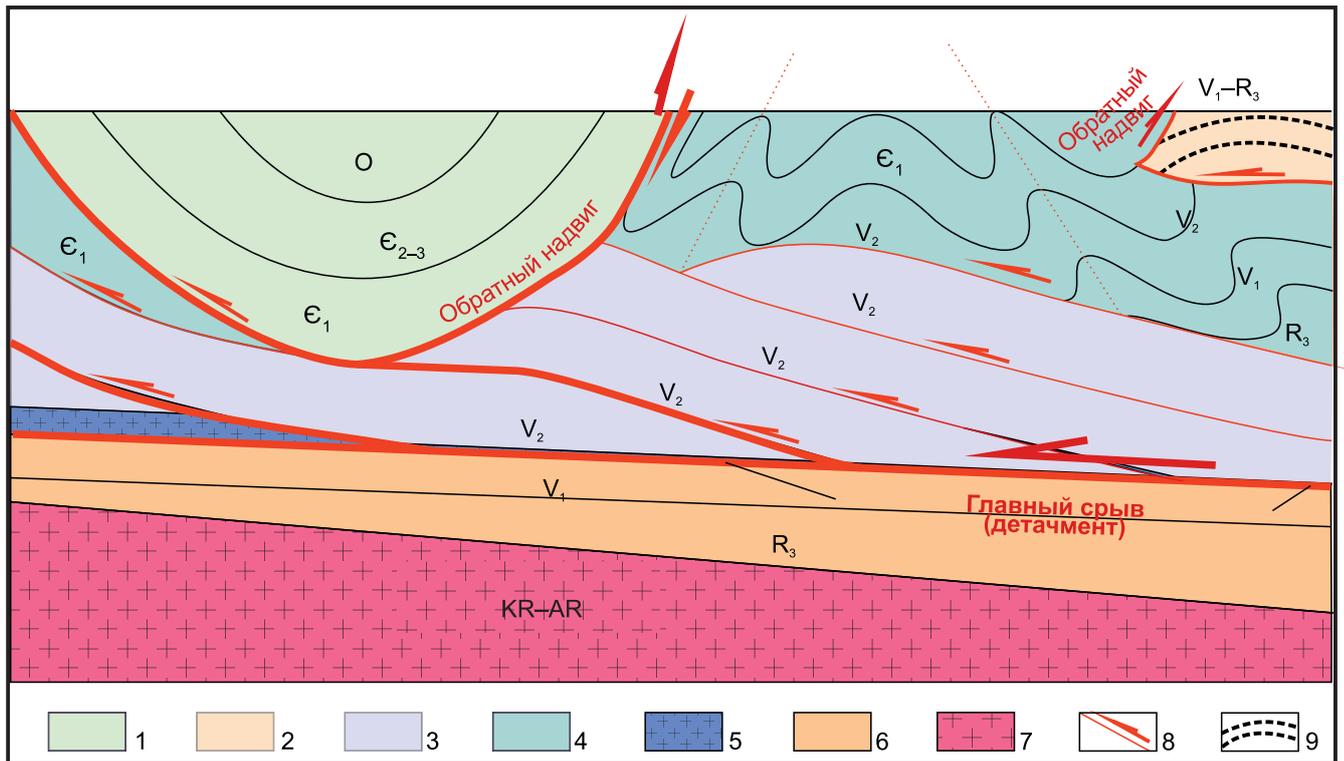
**Рис. 2.** Опрокинутые складки в Пелудейской скв. 753 (а) и в отложениях лимпейской свиты, правый берег р. Лена в 12 км по прямой к северо-востоку от Частинских скважин (б)

мамского (на старых картах мамско-оронского) гранитоидного комплекса, а также на основании резко несогласного залегания существенно кластогенных красноцветных проблемных девонских (?) образований орночеканской свиты (карты О-49 и N-49 ГК-1000 третьего поколения) [9].

Главная поверхность срыва в центральной части Байкало-Патомской области проходит на глубине около 3 км, полого погружается на юго-восток и, видимо, может быть приурочена к торсальским солям верхнего венда тирского стратиграфического горизонта. Ниже этого уровня горизонты автохтонного блока также моноκлиально погружаются на юго-восток и дислоцированы в гораздо меньшей степени. Выше происходит срыв вендских толщ и их сгуживание в виде многократно повторяющихся разновозрастных пластин. Это хорошо иллюстрируется сдвоенным перевернутым интервалом карбонатного венда в Нижнепелудейской скв. 753 (см. рис. 2). На удалении от фаса нагорья сдвоение и более частое тектоническое пакетирование повторяющихся интервалов (реже – перевернутое залегание) фиксируются по результатам описания керна и интерпретации

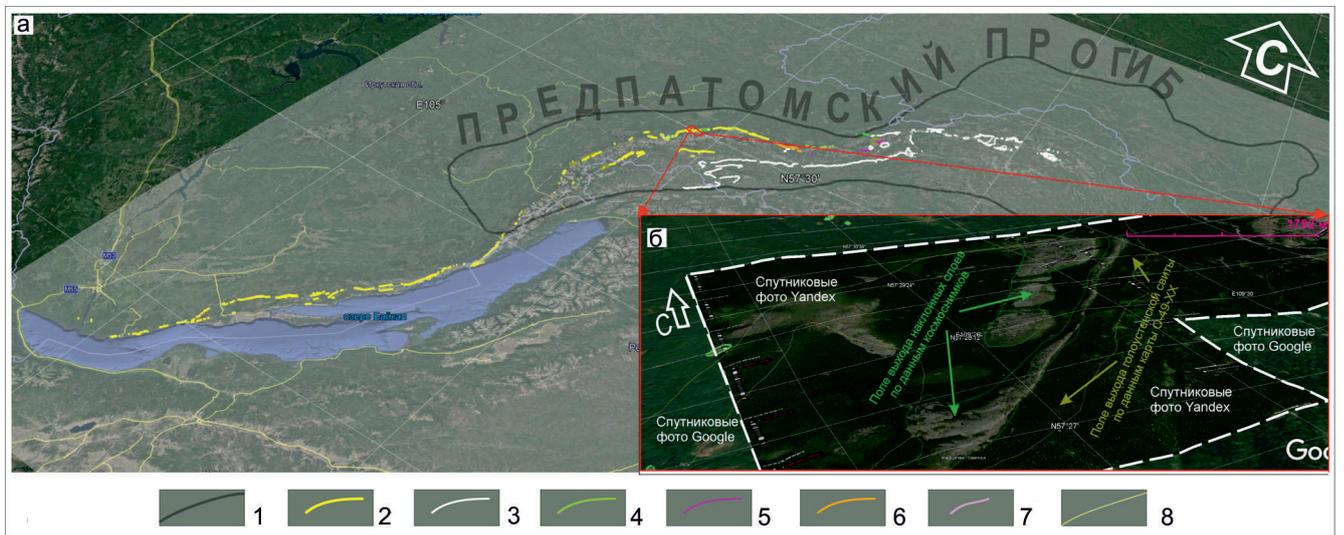
каротажа в скважинах Отраднинских 314-2, 314-3 и Суларской 2420.

Подобные дуплексные структуры сгуживания, вдвиговые клинья или инденторы в их фронтальной части, наблюдаемые на сейсмических разрезах как весьма запоминающиеся образы типа «клюва» или «рыбьего хвоста», вероятно, являются универсальным признаком фронта шарьяжных пластин (рис. 3). Ближе к фасу складчатой области сгуживание сопровождается активным расщеплением, тектоногенным образованием глин, в первую очередь так называемых чешуйчатых глин (scaly clay). Масштабы этого процесса, как представляется, весьма недооцениваются [30]. В любом случае в Предпатомском прогибе, как и во многих других складчатых поясах, устанавливаются так называемые пластические дуплексы, или машвэды (mushwad), – гигантские антиформы, сложенные слабометаморфизованными карбонатами и глинистыми сланцами. Подобные структуры демонстрируют повышенные содержания органического углерода и являются перспективными газоносными объектами [24]. Примером таких образований могут быть сланцы качергатской свиты, вскрытые При-



**Рис. 3.** Принципиальная модель строения сложно построенного прискладчатого комплекса осадочного чехла Предпатомского прогиба

1 – фронтальная синклинали; 2 – шарьяж складчатого обрамления, метаморфизованные толщи, в том числе принимаемые за байкальский комплекс; 3 – сгруживание чешуй карбонатного межсолового венда; 4 – интенсивно дислоцированный сжатый венд-кембрийский блок; 5 – тирские (торсальские) соли; 6 – осадочный автохтон; 7 – кристаллическое основание; 8 – сместители разрывов с указанием смещения; 9 – вторичная метагенетическая зональность



**Рис. 4.** Выходы на поверхность тектонокластических толщ Предпатомского прогиба и Прибайкалья: а – вся складчатая область, б – междуречье Чай и Чечуя

1 – границы Предпатомского перикратонного прогиба; 2–7 – выходы на поверхность: 2 – голоустенской свиты и нижней подсвиты голоустенской свиты в Прибайкалье, 3 – пурпольской и чукчинской свит, местами нерасчлененной тепторгинской серии, 4 – дешифрованные по космоснимкам выходы тектонокластитов, 5 – ченчинской свиты, 6 – кумахулахской свиты, 7 – нижней подсерии патомской серии; 8 – автодороги

байкальской скв. 1 в весьма хаотичном залегании на глубину более 2 км.

Во фронтальной зоне наиболее метаморфизованных сгруживаний ближе к складчатой области тектоническая поверхность, по сути, пред-

ставляющая собой обратный надвиг, выполнена тектонокластическими толщами мощностью иногда более 100 м. Тектонокластиты представляют собой образования проблемного, малоизученного генезиса. Вероятно, они не могут быть причис-



лены ни к типичным катаклазитами, ни тем более к бластомилонитам. В них широко проявились метасоматические процессы кремнекислотной перекристаллизации, сформировавшей практически чистые кварцевые псевдопесчаники и псевдогравелиты [12]. Анализ геологических структур Предпатомского прогиба и результаты полевых работ ВНИГНИ по рр. Чечуй и Чая (2018 и 2019 гг.) [11, 12] показывают, что значительные углы наклона таких «голоуспенских песчаников», азимуты их падения, согласные элементам залегания метаморфитов актиканской серии и секущие тинтрузивные толщи, свидетельствуют в пользу их тектонокластической природы (рис. 4, б). Установлено преимущественно обратное (от фаса надвигов) падение кластических толщ, обусловленное приуроченностью их к обратным надвигам или поддвигам. Подобное строение сопровождается парагенезом отдельных шарьяжных пластин с достаточно крупными брахиформными и линейными синклиналями, сформированными перед фронтом пододвигания (рис. 5).

Частая рыжая «оспенная» ожелезненность, использованная съемщиками в качестве маркирующего признака голоуспенских кварцитов, вероятно, свидетельствует об их генетической связи с типичными железистыми кварцитами, которые наблюдаются в аллохтонных метаморфических пластинах ближе к центральной (осевой) части Байкало-Патомской складчатой области [12].

В созданном для анализа комплексных данных (в программе Google Earth) интерпретационном проекте земной поверхности на трехмерной основе совмещены спутниковые снимки из различных доступных систем (Google, Bing и Yandex), геологические карты м-бов 1:200 000 и 1:1 000 000, данные собственных полевых наблюдений 2018 и 2019 гг. по рр. Чечуй и Чая [11, 12] и расположение линий сейсмических профилей. Одним из главных способов интерпретации стало вынесение на спутниковую основу закартированных выходов проблемных тектонокластических образований (см. рис. 4), которые хорошо маркируют зоны главных плоскостей смещения тектонических пластин относительно друг друга. По ним происходит смена различных формационных комплексов. Они достаточно уверенно дешифрируются с помощью анализа космоснимков. Результаты дешифрирования коррелируют не только с полевыми наблюдениями ВНИГНИ (по р. Чечуй в 2018 г., по р. Чая в 2019 г., в верховьях рр. Чанчур и Булгары в 2020 г., по р. Большая Чая в 2021 г.), но и с минерагеническим зонированием к картам м-ба 1:1 000 000, а также с материалами геофизических наблюдений, в первую очередь сейсмических профилей.

В 2016 г. по результатам наших исследований (объект государственного заказа 7Ф-14) было предложено проведение сейсмических наблюдений, увязанных с работами по глубинному сейсмическо-

му речному профилю по р. Витим с пересечением основных структур юго-юго-восточного складчатого обрамления Сибирской платформы. Профиль «Витим» (2019 г.) впервые показал картину внутренней весьма сложно построенной части чехла Предпатомского перикратонного прогиба глубиной до 6,5 с во временном масштабе. На всем его маршруте нет ни одной скважины, однако относительно крутые углы выхода стратифицированных толщ позволяют увязать поверхностную геологию с сейсмической картиной и восстановить геологическое строение участка. Имеется всего один региональный сейсмический профиль «Батолит», пересекающий профиль «Витим» на р. Лена в 4 км ниже устья р. Витим. Кроме того, сейсмическая картина хорошо увязывается с данными интерпретации МТЗ по профилю 1-СБ.

Приблизительно от устья р. Верхняя Язовая и вверх по течению р. Витим на поверхности в тальвеге и склонах долины обнажается тектонический покров, сложенный гранито-гнейсами, часто горизонтально плитчатыми, очковой текстуры. На основании временной картины и вскрытия в тальвеге р. Витим подстилающих этот покров толщ, сложенных конгломератами витимской свиты, можно предположить, что его подошва залегает весьма неглубоко и имеет субгоризонтальный характер (см. рис. 5). Наиболее преобразованная, вероятно, осевая зона лежачей складки представляет собой типичные стратиформные, или синкинематические граниты по Э. Рагену [14].

Другим подтверждением этого факта является наличие в 13 км на запад от профиля «Витим» Лакатыкского и Барагдинского тектонических окон, в которых обнажаются верхнерифейско-вендские толщи (рис. 6). Результаты полевых исследований ВНИГНИ в 2021 г. гранито-гнейсового покрова на р. Большая Чая выше устья р. Медвежевка свидетельствуют о вдвиговом, клиновидном строении его фронта, маркируемого кварцитами пурпольской свиты, падающими под углом 65° по азимуту 315°. Такое же вдвиговое строение относительно тонкой пластины гранитов показано и в работе В. К. Александрова [1].

Как уже отмечалось, количество сейсмических профилей, отработанных через юго-юго-восточную периферию Сибирской платформы, невелико, а их качество относительно низкое. Наряду с профилем по р. Витим качеством материала и информативностью выделяется сейсмопрофиль от Ковыктинской глубокой скв. 63 до Прибайкальского прогиба («Ковыкта–Прибайкалье») в непосредственной близости от скважин Нотайской 271 и Покровской 141. Кроме того, это ближайший к Прибайкальской скв. 1 сейсмический разрез с поддающейся интерпретации временной картиной.

На профиле «Ковыкта–Прибайкалье», так же как и на профиле «Витим», в южной прискладчатой части в районе пикетов CDP 7042–7442 ясно дешиф-

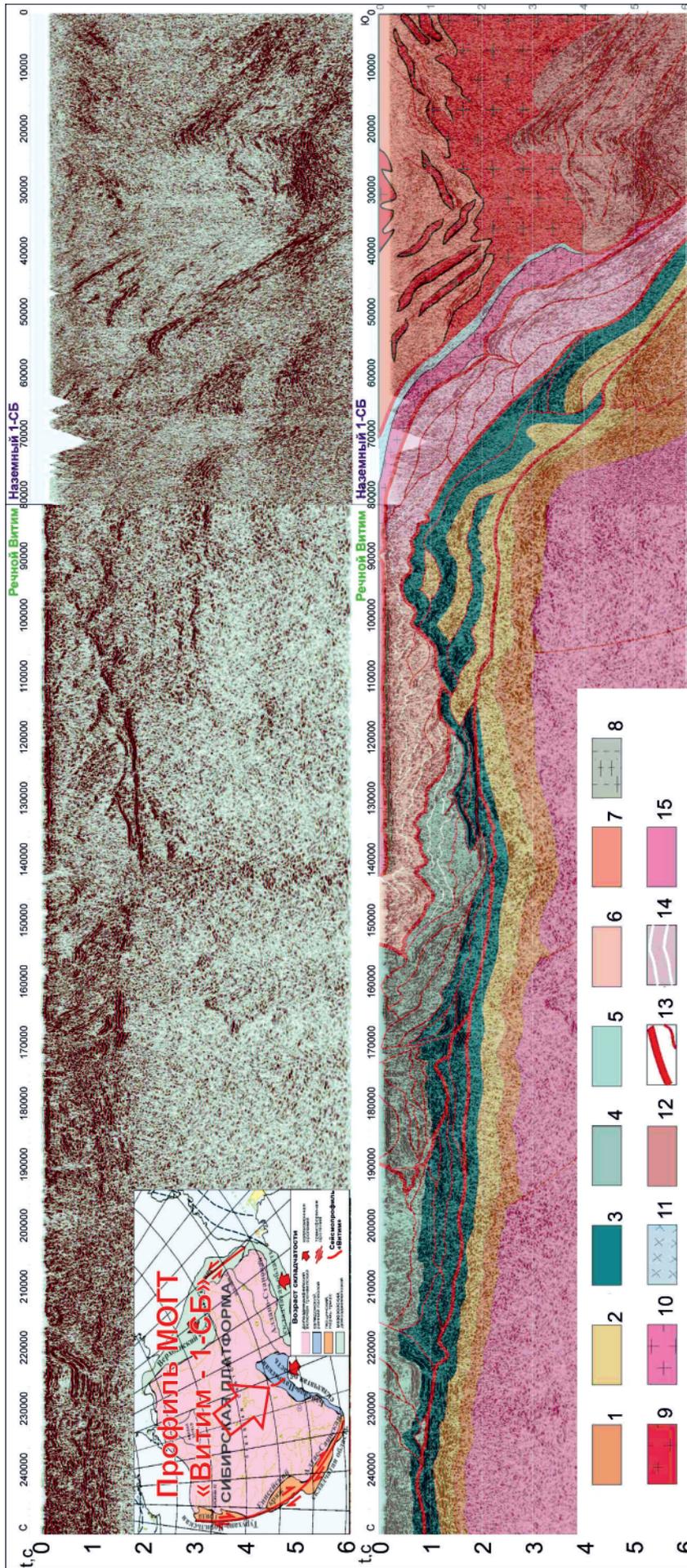
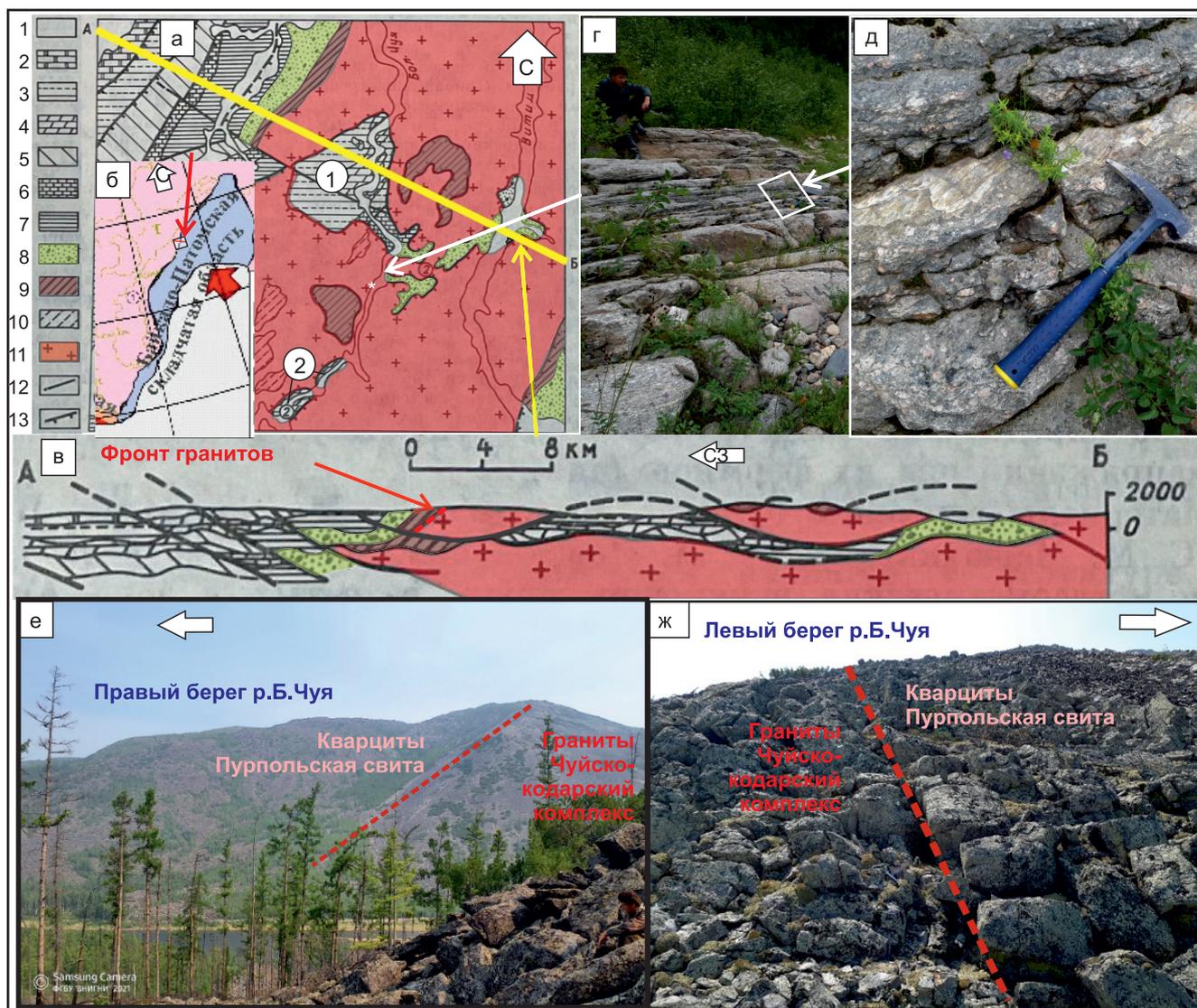


Рис. 5. Временной разрез по сейсмическому композитному профилю «Витим-1СБ» (вверху) и его геологическая интерпретация (внизу)

1 – верхнерифейские толщи; 2 – терригенные образования нижнего венда; 3 – верхний венд, тирский и даниловский стратиграфические горизонты; 4 – слабо метаморфизованные дислоцированные толщи нижнего палеозоя; 5 – метаморфизованные солончатые толщи нижнего палеозоя; 6 – интенсивно метаморфизованные зеленосланцевые амфиболитовые интенсивно дислоцированные толщи рифея – палеозоя, частично фундамента; 7 – метаморфизованные и интенсивно дислоцированные амфиболитовые толщи рифея – палеозоя, частично фундамента; 8 – тектокластиты; 9 – гранит-мигматиты; 10 – синколлизонные граниты; 11 – тектокластиты тепторгинской серии; 12 – дуговое сгущение пород нижней коры конвергирующих плит; 13 – главные и второстепенные разрывы, дешифрируемые по форме сейсмических отражений; 14 – предполагаемые поверхности динамометаморфического расщепления; 15 – породы фундамента Сибирской платформы



**Рис. 6.** Структурные особенности стратиформных чуйско-кодарских гранитоидов в бассейне р. Большая Чуя: а – схематическая геологическая карта [1]; б – положение участка на обзорной карте; в – разрез по линии АБ [1], иллюстрирующий строение поддвигового фронта; г – обнажение стратиформных плитчатых очковых гранитогнейсов, левый берег р. Большая Чуя; д – борозды скольжения в гранитогнейсах; е – панорамное фото поддвигового фронта гранитоидов; ж – фото поддвигового фронта в левом борту долины

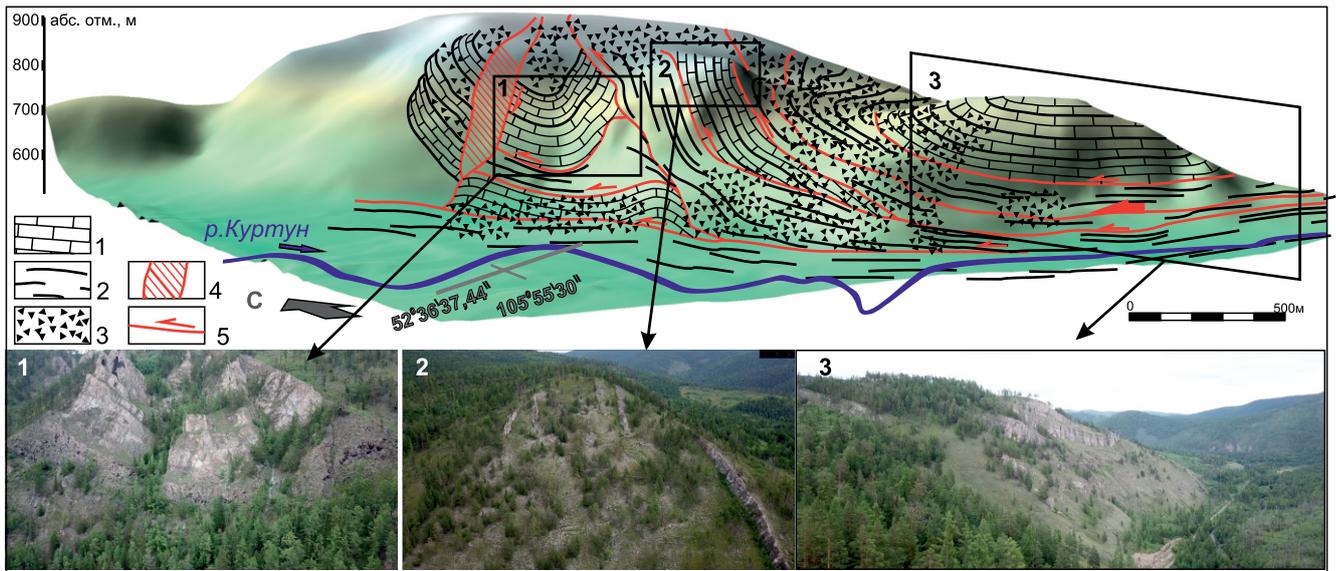
Отложения: 1 – четвертичные; 2 – нижнекембрийские; 3 – вендские; 4–7 – верхнерифейские: 4 – жуинская серия, 5–7 – свиты: 5 – валухтинская, 6 – баракунская, 7 – джемкуканская; 8 – среднерифейские; 9 – нижнерифейские, тепторгинская серия; 10 – чуйская свита, нижний протерозой; 11 – чуйско-кодарский гранитоидный комплекс; 12 – разрывы; 13 – шарьяжи; цифры в кружках – тектонические окна: Локатыкское (1) и Барагдинское (2)

рируются дуплексные сгруживания карбонатного венда. Весьма вероятно, что это те же самые сгруживания улунтуйских строматолитовых известняков, которые наблюдаются в береговых обнажениях Кадильно-Голоуспенской структуры на оз. Байкал и в так называемом гипостратотипическом обнажении образований байкальской серии по р. Куртун (рис. 7). Аналогии тектонического строения и пространственная прослеживаемость делают это предположение весьма вероятным.

По результатам интерпретации сейсмических профилей «Ковыкта – Прибайкалье» и «Витим», реконструкций залегания стратифицированных толщ, по материалам космических фотоснимков и на основании анализа разномасштабных геологических

карт построена геодинамическая схема Байкало-Патомского региона (см. рис. 7).

Масштабы надвигания, степень дислоцированности и метаморфизма различных надвиговых пластин указывают на то, что Байкало-Патомская каледонская складчатая область весьма близка родственна другим складчатым областям мира, и в частности каледонидам Скандинавского полуострова [25]. При сравнении этих орогенов заметны аналогии между выходящими в осевой части Байкало-Патомской складчатой области высокометаморфизованными, в значительной степени палингенными образованиями Мигматитовой зоны или Чая-Мамско-Чипикетским «блоком-пластиной» Миня-Мамско-Чипикетского «краевого выступа



**Рис. 7.** Трехмерная модель геологического строения левобережья р. Куртун выше руч. Молька (северный берег оз. Байкал)

1 – карбонаты улунтуйской свиты; 2 – динамометаморфические сланцы голоустенской (в нижней части долины) и улунтуйской свит; 3 – осыпные и задернованные склоны; 4 – зона тектонически раздробленных пород; 5 – разломы надвиговой и поддвиговой природы с указанием направления смещения

дорифейского фундамента» [9, 13] (рис. 8) и комплексом пластины Севе (Скандинавия) [22]. Другие два блока-пластины этого «выступа» (Акитканский и Чуйский) интерпретируются как Главная сутурная зона весьма выдержанной и относительно малой (в районе р. Витим составляющей несколько сотен метров) толщины (см. рис. 8).

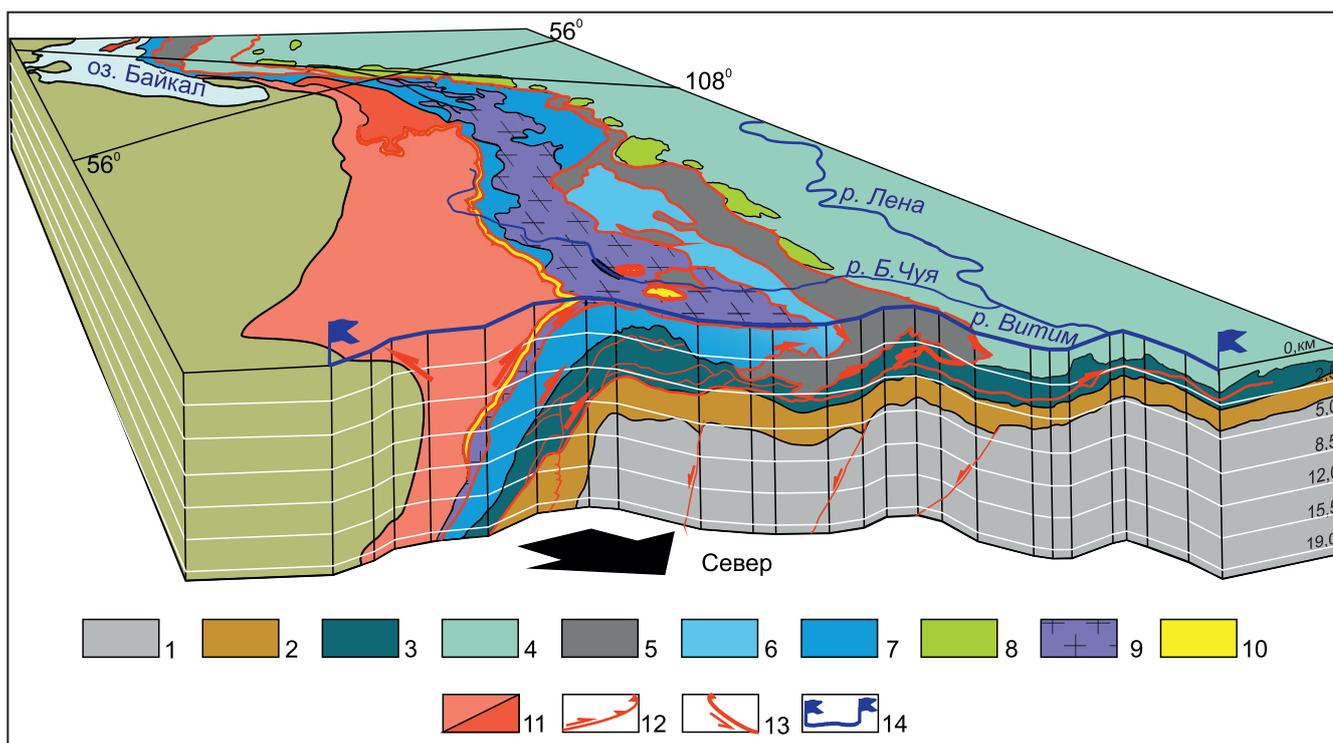
По наличию синколлизонных гранитов, которые скандинавские геологи называют милонитовыми [22], а Э. Раген – стратиформными и синкинематическими [14], а также псаммитов [22] (возможно, тектонокластитов) и роев даек Главную сутурную зону Байкало-Патомского нагорья, вероятно, можно сопоставить с пластиной Сарв (Скандинавия), также перекрываемой высокометаморфизованными толщами шарьяжа Севе. Тектонокластиты в изучаемом районе представлены в тыловой приосевой части складчатой области нижней частью тепторгинской серии – пурпольской и чукчинской свитами. Во фронтальной зоне вкрест и по простиранию в центре складчатой области это «песчаники» голоустенской свиты, на юге – ее нижней подсвиты. Соответствующие «роям даек» пластины Сарв серии силлов чайского долеритового комплекса и метадиабазов медвежевской свиты также обычно сопровождают тектонокластические формирования.

Выполненные геодинамические реконструкции позволяют рассматривать, казалось бы, достаточно различающиеся по геологическому строению регионы Прибайкалья и Предпатома как части единого складчатого пояса каледонского возраста. Особенности геологического строения, отличающие их друг от друга, вероятно, обусловлены различной историей постскладчатого развития. Прибайкалье

оказалось ближе к активным орогенным областям Центрально-Азиатского региона, в свою очередь, возникшим, как справедливо указывает М. М. Буслов [6], в кайнозое, в результате воздействия Индийской платформы на Евразийский континент. Этот процесс неравномерно отразился на когда-то однотипно или весьма близко геологически построенном складчатом поясе каледонид юго-юго-восточного обрамления и периферийных частей Сибирской платформы.

Юго-западная часть этого пояса, расположенная ближе к очагу генерации косых тангенциальных движений коры, оказалась приподнятой и испытала значительные денудации, обнажившие глубинные автохтонные и параавтохтонные комплексы, корневые части поддвигов и надвиговых пластин. На поверхность были выведены базальные отложения чехла, вероятно, даже комплексы фундамента Сибирской платформы. Еще более усложняет тектоническую картину кайнозойское наложение рифтогенных сбросовых дислокаций, совместивших высоко и менее метаморфизованные комплексы по сбросам. При этом в опущенном блоке (Ольхонский «террейн») наблюдаются породы верхней тектонической пластины, так называемого УНР (ultra high pressure – сверхвысоких давлений) комплекса Мигматитовой зоны.

Разрез северо-восточной части складчатого пояса намного более полный, и степень его денудации настолько мала, что в ядре лежащего антиклинория обнажаются только самые верхние части Мигматитовой (УНР) и Главной сутурной («милонитовой») зон. Детачменты, поверхности пологих срывов или шарьяжи также минимально выходят на поверхность и проявлены не ярко. Преобладают



**Рис. 8.** Трехмерная геодинамическая модель каледонского Байкало-Патомского складчатого пояса по сейсмическому речному профилю «Витим»

1 – кристаллический фундамент; 2–3 – осадочный чехол: 2 – слабо измененный преимущественно терригенный автохтон, 3 – интенсивно дислоцированный преимущественно карбонатный параллохтон; 4 – в различной степени дислоцированный, преимущественно соленосно-карбонатный параллохтон; 5 – преднадвиговые карбонатные, сланцевые дуплексы, моласса; 6 – слабо метаморфизованные толщи (до зеленосланцевой фации); 7 – интенсивно метаморфизованные толщи (выше зеленосланцевой фации); 8 – преднадвиговые ядра синформ; 9 – синколлизонные стратиформные граниты Главной сутурной зоны; 10 – тектонокластиты тепторгинской серии; 11 – высокометаморфизованные мигматизированные толщи Мигматитовой зоны; 12 – надвиги; 13 – поддвиги; 14 – профиль «Витим»

плавные пликативные дислокации верхних частей шарниров и замков лежащих антиформ, относительно незначительно нарушенных разломами. Выполненные построения, таким образом, полностью подтверждают выводы В. С. Федоровского [19] о каледонском возрасте складчатости Ольхонского «террейна» и выводы всех последователей де Лоне (начиная с А. А. Борисяка) о каледонском тектогенезе Прибайкалья. Это в том числе указывает на несостоятельность устоявшихся упрощенных и в корне ошибочных взглядов на происхождение пластин, «блоков-пластин» или «блоков» высокометаморфизованных образований, в качестве аккрецировавших древних «террейнов» или, как в случае Аkitканского «поднятия», раннепротерозойских вулканических поясов.

История геологического развития юго-восточной периферии Сибирской платформы, восстанавливаемая на основе анализа ее глубинного строения, позволяет предположить основные этапы ее развития. Вероятно, в позднем рифее в процессе дивергентного раскрытия океанического бассейна сформировалась пассивная окраина платформы. В венде–ордовике в пассивно-окраинных условиях происходило накопление мощных сначала терригенных, затем карбонатных и карбонатно-галогенных толщ. В среднем кембрии началось закрытие

бассейна и формирование терригенных и терригенно-карбонатных пород. В силуре–девоне в результате приращения Баргузинского кратона с юго-востока к Сибирской платформе [8] произошло формирование Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса (складчатой области). В начале кайнозоя вследствие горизонтальных сдвиговых процессов, инициированных столкновением Индии с Евразией [6], начались региональное воздымание и денудация значительных объемов коры на юге складчатой области, что практически полностью уничтожило значительные части надвиговых пластин в Прибайкалье и закончилось формированием транстензионного Байкальского рифта (по сбросам и сбросо-сдвигам были совмещены реликтовые блоки-пластины (непы) каледонского складчатого пояса).

Такая история развития позволяет реконструировать предполагаемую (speculative) [23] Предпатомскую нефтегазовую систему (НГС), сформировавшую крупнейшие месторождения нефти и газа юго-востока Сибирской платформы. В этом контексте НГС понимается в трактовке А. Перродона: геологические критерии, определяющие распределение залежей и, в частности, совокупное присутствие материнских пород, резервуаров и экранов [27] и конечный результат организованной последова-



тельности геологических событий (в пространстве и времени) [23].

Область аккумуляции этой системы расположена в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы. Очаг нефтегазовой генерации находится в Предпатомском перикратонном прогибе и связан с развитием здесь на глубинах до нескольких километров и более, в том числе в поднадвиговом положении, вендских [2, 17] и, возможно, верхнерифейских отложений [18]. Расстояния миграции, осуществлявшейся, видимо, в пределах верхнерифей-вендского терригенного резервуара (вилючанский, талахский, хамакинский, ботуобинский продуктивные горизонты и их аналоги), можно оценивать значениями более 200 км. Максимально (критически) миграционно-аккумуляционные процессы проявились в раннем палеозое – с ордовика по девон. Коллизионные события привели к разрушению многочисленных нефтегазовых скоплений и возникновению мощных новообразованных тектоногенных черносланцевых формаций в Байкало-Патомской складчатой области.

Таким образом, высокие оценки перспектив нефтегазоносности Предпатомского перикратонного прогиба, сделанные ранее [13], имеют под собой достаточно веские основания. Главными положительными факторами являются шарьяжное строение Предпатомского регионального прогиба, относительно слабая дислоцированность и простираание автохтонных горизонтов терригенного венда под каледонскими надвиговыми пластинами на десятки километров (см. рис. 5, 7), а также возможное широкое распространение регионального экрана, представленного тирскими солями.

Важным для оценки перспектив нефтегазоносности мощного поднадвигового чехла Предпатомского прогиба является возможность и доступность изучения автохтонных и параавтохтонных комплексов в Прибайкалье. Весьма вероятно, что степень метаморфизма, катагенеза органического вещества, коллекторские свойства пород, изученные в процессе исследований в более обнаженном, а значит, более доступном Прибайкальском регионе, могут быть встречены в поднадвиговых формированиях северо-восточной части юго-восточной периферии Сибирской платформы. Аналогии геологической позиции Ковыктинского месторождения в этом случае будут находиться в непосредственной близости к шарьяжному фронту, возможно, даже в поднадвиговых частях на северо-востоке.

## Выводы

1. Имеющиеся геолого-геофизические материалы, в первую очередь геолого-съёмочные и сейсмические данные, позволяют установить коллизионный характер и каледонский возраст коллизии Предпатомского перикратонного прогиба и Байкало-Патомской складчатой области.

2. Юго-восточное перикратонное обрамление Сибирской платформы имеет типичную структуру и характерную для складчатого пояса историю развития. В различной степени метаморфизованные надвиговые пластины, сформированные в каледонскую эпоху складчатости, на разных денудационных срезах демонстрируют черты строения, известные в многочисленных складчатых поясах мира. Внутри пластин встречаются повторяющиеся парагенетические петрологические ассоциации, подчеркивающие роль тектоники в процессах литогенеза (петрогенеза).

3. Степень изученности предполагаемого очага нефтегазовой генерации в пределах Предпатомского перикратонного прогиба, в первую очередь нефтегазоматеринских отложений, пока позволяет лишь наметить предполагаемую богатую изолированную латеральную Предпатомскую нефтегазовую систему как комбинацию очага генерации, путей миграции и области аккумуляции.

4. Вендский терригенный и в меньшей степени венд-нижнекембрийский карбонатный нефтегазоносные комплексы Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции в соответствии с представленной тектонической моделью могут иметь весьма высокие перспективы нефтегазоносности в северной поднадвиговой части Предпатомского прогиба в его современных границах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров В. К.** Надвиговые и шарьяжные структуры Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1990. – 103 с.
2. **Баженова Т. К., Дахнова М. В., Можегова С. В.** Верхний протерозой Сибирской платформы – основной источник нефтегазоносности ее домезозойского мегабассейна // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6, №2. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/1/17\\_2011.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/17_2011.pdf).
3. **Беличенко В. Г.** Каледониды Байкальской горной области. – Новосибирск: Наука, 1977. – 134 с.
4. **Булгатов А. Н.** Тектонотип байкалид. – Новосибирск: Наука, 1983. – 194 с.
5. **Булдыгеров В. В., Собаченко В. Н.** Проблемы геологии Северо-Байкальского вулcano-плутонического пояса. – Иркутск: Изд-во ун-та, 2005. – 184 с.
6. **Буслов М. М.** Геодинамическая природа Байкальской рифтовой зоны и ее осадочного выполнения в мел-кайнозойское время // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 9. – С. 1245–1255.
7. **Геодинамика** Западно-Забайкальского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса в позднем палеозое / А. М. Мазукабзов, Т. В. Донская, Д. П. Гладкочуб, И. П. Падерин // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, вып. 5. – С. 615–628.
8. **Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натанов Л. М.** Тектоника литосферных плит территории СССР. В 2 кн. Кн. 1. – М.: Недра, 1990. – 328 с.
9. **Карта** дочетвертичных образований: О-49, (50) (Бодайбо): Государственная геологическая карта

СССР м-ба 1:1 000 000 (новая серия)/ ред. Е. С. Кутейников, Е. П. Миронюк, О. В. Перевалов, П. И. Шамес. – М.: ВСЕГЕИ, 1984.

10. **Клитин К. А., Павлова Т. Г., Постельников Е. С.** Байкалиды юго-востока Сибири / под ред. Н. С. Зайцева, А. В. Пейве. – М.: Наука, 1970. – 149 с. – (Тр. ГИН АН СССР; вып. 219).

11. **Мигурский Ф. А.** Геологическая модель Предпатомского перикратонного прогиба в свете оценки перспектив нефтегазоносности // Новые идеи в геологии нефти и газа: тр. конф. – М.: Перо, 2019. – С. 314–318.

12. **Мигурский Ф. А.** Главные особенности и общие черты геологического строения периферийных областей Сибирской платформы // Новые идеи в геологии нефти и газа – 2021: тр. конф. – М.: Перо, 2021. – С. 343–347.

13. **Мигурский Ф. А.** Проблемы оценки масштабов и перспектив нефтегазоносности Предпатомской нефтегазоносной области в свете эволюции взглядов на тектоническое строение юго-восточного обрамления Сибирской платформы // Геология нефти и газа. – 2019. – № 2. – С. 39–54.

14. **Раген Э.** Геология гранита / пер. с фр. В. И. Баженова. – М.: Недра, 1979. – 326 с.

15. **Розен О. М., Федоровский В. С.** Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры. – М.: Научный мир, 2001. – 188 с.

16. **Сизых В. И.** Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 154 с.

17. **Соболев П. Н., Кожевых И. А.** Новые данные по геохимии нафтидов и органического вещества неопротерозойских отложений зоны сочленения Предпатомского прогиба и Непско-Ботубинской антеклизы (Сибирская платформа) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – № 2. – С. 77–85.

18. **Тимошина И. Д.** Геохимия органического вещества нефтепроизводящих пород и нефтей верхнего докембрия юга Восточной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005. – 166 с.

19. **Федоровский В. С., Скляр Е. В.** Ольхонский геодинамический полигон (Байкал): аэрокосмические данные высокого разрешения и геологические карты нового поколения // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Т. 1, № 4. – С. 313–418.

20. **Шатский Н. С.** Избранные труды. В 4 т. Т. II. – М.: Наука, 1964. – 720 с.

21. **Юдин В. В.** Надвиговые и хаотические комплексы. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2013. – 252 с.

22. **A one-billion-year gap in the Precambrian history of the southern Siberian Craton and the problem of the Transproterozoic supercontinent / D. Gladkochub, T. Donskaya, M. Wingate, et al. // American Journal of Science. – 2010. – Vol. 310, issue 9. – P. 812–825.**

23. **Exploring for Oil and Gas Traps / L. B. Magoon, E. A. Beaumont, eds. // Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology, 1999. – 12 p.**

24. **Gigantic**, gaseous mushwads in Cambrian shale: Conasauga Formation, southern Appalachians, USA / J. C. Pashin, D. C. Kopaska-Merkel, A. C. Arnold, et al. // International Journal of Coal Geology. – 2012. – 05.010. – P. 70–91.

25. **Hedin P., Juhlin C., Gee D.** Seismic imaging of the Scandinavian Caledonides to define ICDP drilling sites // Tectonophysics. – 2012. – No. 30–41. – P. 554–557.

26. **Palaeozoic** orogeneses around the Siberian craton: Structure and evolution of the Patom belt and foredeep / Th. de Boisgrollier, C. Petit, M. Fournier, et al. // Tectonics. – 2009. – No. 28.

27. **Perrodon A.** Petroleum Systems: Models and Applications // Journal of Petroleum Geology. – 2007. – No. 15. – P. 319–325.

28. **Pfiffner O. A.** Thick-skinned and thin-skinned tectonics: A global perspective // Geosciences, – 2017. – No. 7(3). – URL: <https://doi.org/10.3390/geosciences7030071>.

29. **Tectonic** map of Northern-Central-Eastern Asia and adjacent areas. Scale 1:2,500,000 / Ed. O. V. Petrov, Yu. G. Leonov (Russia), Li Tingdong (China), et al. // Atlas of geological maps of Northern-Central-Eastern Asia and adjacent areas. 1:2,500,000. – Saint Petersburg: VSEGEI Printing House, 2014.

30. **Vrolijk P., van der Pluijm B. A.** Clay gouge // Journal of Structural Geology. – 1999. – Vol. 21, Issues 8–9. – P. 1039–1048. – URL: [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00103-0).

## REFERENCES

1. Aleksandrov V.K. *Nadvigovyye i sharyazhnyye struktury Pribaykalya* [Thrust and overthrust structures in Baikal Lakeside]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 103 p. (In Russ.).

2. Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Mozhegova S.V. [Upper Proterozoic formations of Siberian Platform – main source of oil and gas of Pre-Mesozoic megabasin]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2011, vol. 6, no. 2. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/1/17\\_2011.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/17_2011.pdf) (In Russ.).

3. Belichenko V.G. *Kaledonity Baykalskoy gornoy oblasti* [Caledonites of the Baikal mountainous area]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 134 p. (In Russ.).

4. Bulgatov A.N. *Tektonotip baykalid* [Tectonotype of baikalites]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983. 194 p. (In Russ.).

5. Buldygerov V.V., Sobachenko V.N. *Problemy geologii Severo-Baykalskogo vulcano-plutonicheskogo poysa* [Geological problems of the North Baikal volcano-plutonic belt]. Irkutsk, Irkutsk University Publ., 2005. 184 p. (In Russ.).

6. Buslov M.M. [Geodynamic nature of the Baikal rift zone and its sedimentary filling in the Cretaceous-Cenozoic: The effect of the far-range impact of the Mongolo-Okhotsk and Indo-Eurasian collisions]. *Russian Geology and Geophysics*, 2012, vol. 53, no. 9, pp. 955–962.



7. Mazukabzov A.M., Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Paderin I.P. [The Late Paleozoic geodynamics of the West Transbaikalian segment of the Central Asian Fold Belt]. *Russian Geology and Geophysics*, 2010, vol. 51, no. 5, pp. 482–491.
8. Zonshayn L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. *Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR* [Tectonics of Lithospheric Plates of the USSR Territory]. Moscow, Nedra Publ., book 1. 328 p. (In Russ.).
9. Kuteynikov E.S., Mironyuk E.P., Perevalov O.V., Shames P.I., eds. [Map of Quaternary formations: O-49, (50) (Bodaybo)]. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:1 000 000 (novaya seriya)* [State Geological Map of USSR of 1:1,000,000 scale (new series). Moscow, VSEGEI Publ., 1984. (In Russ.).
10. Klitin K.A., Pavlova T.G., Postelnikov E.S. [Baikalides of the southeastern Siberia]. *Trudy Geologicheskogo Instituta AN SSSR*, vol. 219. Moscow, Nauka Publ., 1970. 149 p. (In Russ.).
11. Migurskiy F.A. [Geological model of Pre-Patom pericratonic trough in the light of evaluation of oil-and-gas prospects]. *Novyye idei v geologii nefi i gaza* [New ideas in petroleum geology]. Moscow, Pero Publ., 2019, pp. 314–318. (In Russ.).
12. Migurskiy F.A. [The main peculiarities and general features of the geological structure of fringe areas of the Siberian Platform]. *Trudy konferentsii "Novyye idei v geologii nefi i gaza"* [Proceedings of the Conference "New ideas in petroleum geology"]. Moscow, Pero Publ., 2021, pp. 343–347.
13. Migurskiy F.A. [On the assessment of oil and gas occurrence scale and prospects in the Pre-Patomsky Petroleum Region in the light of evolution of views on tectonic framework of Siberian Platform's southeastern margins]. *Geologiya nefi i gaza – Oil and Gas Geology*, 2019, no. 2, pp. 39–54. (In Russ.).
14. Ragen E. *Geologiya granita* [Geology of granite]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 326 p. (In Russ.).
15. Rozen O.M., Fedorovskiy V.S. *Kollizionnyye granitoidy i rassloeniye zemnoy kory* [Collisional granitoids and the earth crust layering]. Moscow, Nauchny Mir Publ., 2001. 188 p. (In Russ.).
16. Sizykh V.I. *Sharyazhno-nadvigovaya tektonika okrain drevnikh platform* [Overthrust-thrust tectonics of the margins of ancient platforms], Novosibirsk, SB RAS Publ., Geo Branch, 2001. 154 p. (In Russ.).
17. Sobolev P.N., Kozhevnykh I.A. [New data on geochemistry of naphthides and organic matter of the Neoproterozoic deposits in the conjunction zone within Predpatom Trough and Nepa-Botuoba Antecline (Siberian Platform)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2013, no. 2, pp. 77–85. (In Russ.).
18. Timoshina I.D. *Geokhimiya organicheskogo veshchestva nefteprodukovyashchikh porod i neftey verkhnego dokembriya yuga Vostochnoy Sibiri* [Geochemistry of organic matter of petroleum producing rocks and oils of the Upper Precambrian of the south Eastern Siberia]. Novosibirsk, SB RAS Publ, GEO Branch, 2005. 166 p. (In Russ.).
19. Fedorovskiy V.S., Sklyarov E.V. [The Olkhon geodynamic providing ground (Lake Baikal): high resolution satellite data and geological maps of new generation]. *Geodinamika i tektonofizika – Geodynamics & Tectonophysics*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 313–418. (In Russ.).
20. Shatskiy N.S. *Izbrannyye trudy* [Selected works]. Vol. 2. Moscow, Nauka Publ., 1964. 720 p. (In Russ.).
21. Yudin V.V. *Nadvigovyye i khaoticheskiye komplekсы* [Thrust and chaotic complexes]. Simferopol, IT ARIAL Publ., 2013. 252 p. (In Russ.).
22. Gladkochub D., Donskaya T., Wingate M., et al. A one-billion-year gap in the Precambrian history of the southern Siberian Craton and the problem of the Transproterozoic supercontinent. *American Journal of Science*, 2010, vol. 310, issue 9, pp. 812–825.
23. Magoon L.B., Beaumont E.A., eds. Exploring for Oil and Gas Traps. *Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology*, 1999. 12 p.
24. Pashin J.C., Kopaska-Merkel D.C., Arnold A.C., et al. Gigantic, gaseous mudwads in Cambrian shale: Conasauga Formation, southern Appalachians, USA. *International Journal of Coal Geology*, 2012, 05.010, pp. 70–91.
25. Hedin P., Juhlin C., Gee D. Seismic imaging of the Scandinavian Caledonides to define ICDP drilling sites. *Tectonophysics*, 2012, no. 30–41, pp. 554–557.
26. Boisgrollier Th., de, Petit C., Fournier M., et al. Palaeozoic orogeneses around the Siberian craton: Structure and evolution of the Patom belt and fore-deep. *Tectonics*, 2009, no. 28.
27. Perrodon A. Petroleum Systems: Models and Application. *Journal of Petroleum Geology*, 2007, no. 15, pp. 319–325.
28. Pfiffner O. A. Thick-skinned and thin-skinned tectonics: A global perspective. *Geosciences*, 2017, no. 7(3). URL: <https://doi.org/10.3390/geosciences7030071>.
29. Eds. Petrov O.V., Leonov Yu.G. (Russia), Tingdong Li (China), et al. Tectonic map of Northern-Central-Eastern Asia and adjacent areas. Scale 1:2,500,000. *Atlas of geological maps of Northern-Central-Eastern Asia and adjacent areas. 1:2,500,000*. Saint Petersburg, VSEGEI Printing House, 2014.
30. Vrolijk P., van der Pluijm B.A. Clay gouge. *Journal of Structural Geology*, 1999, vol. 21, issues 8–9, pp. 1039–1048. URL: [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(99\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00103-0).



## ЭВОЛЮЦИЯ ТЕРРИГЕННОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА (C<sub>3</sub>–K) ЛЕНО-ХАТАНГСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (СЕВЕР СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

В. П. Девятков

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

На базе анализа геолого-геофизических материалов получены данные о мощности, составе, условиях формирования и эволюции терригенного седиментогенеза верхнепалеозойских, триасовых, юрских и меловых отложений Лена-Хатангского междуречья, связи осадконакопления с крупными линейными элементами земной коры и тектоническими событиями. Выявлены и подтверждены позднепалеозойский, ранне-триасовый, юрско-меловой и кайнозойский этапы тектогенеза, завершившие формирование структур.

**Ключевые слова:** верхний палеозой – мезозой, мощность, генезис, седиментогенез, тектоника.

## EVOLUTION OF TERRIGENOUS SEDIMENTOGENESIS (C<sub>3</sub>–K) OF THE LENA-KHATANGA INTERFLUVE (NORTH OF THE SIBERIAN PLATFORM)

V. P. Devyatov

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

Based on the analysis of geological and geophysical materials, data on the thickness, composition, conditions of formation and evolution of terrigenous sedimentogenesis of Upper Paleozoic, Triassic, Jurassic and Cretaceous deposits of the Lena-Khatanga interfluve are given, the relationship of sedimentation with large lineaments of the Earth's crust and tectonic events is presented. The Late Paleozoic, Early Triassic, Jurassic-Cretaceous and Cenozoic stages of tectogenesis that completed the formation of structures are identified and confirmed.

**Keywords:** Upper Paleozoic-Mesozoic, thickness, genesis, sedimentogenesis, tectonics.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-17-29

Территория исследований расположена на востоке Северо-Сибирской низменности, сочленяющейся с морем Лаптевых и Горным Таймыром (рис. 1).

Верхнепалеозойские и мезозойские отложения севера Сибири известны в литературе с XIX в., еще со времен экспедиций П. Ф. Анжу в 1821–1823 гг. и А. Л. Чекановского в 1874–1875 гг. В Якутском краеведческом музее сохранилось прошение на имя Александра I мещанина А. С. Бельского, в котором он пишет: «В прошлом, 1804 году по случаю переездов моих по берегу Ледовитого моря в Анабарской стороне найдены были мною соль каменная и таковое же масло, названное Врачебной Управой черной нефтью» [9, с. 5]. Это явное указание на п-ов Юрюнг-Тумус – единственное место с выходом одновременно каменной соли и нефти, где и были развернуты в 1930–1950-х гг. первые геолого-поисковые и съемочные работы. История изучения разрезов, эволюция взглядов на расчленение, строение и современные представления изложены во многих монографиях и статьях сотрудников советских и российских учреждений, включая последние обобщающие сводки по геологии нефтегазоносных областей Сибири [3, 5, 6, 9, 10, 20–23 и др.].

Целью настоящего исследования является реконструкция этапов осадконакопления верхнепалеозойско-мезозойских образований и их связь с тектонической обстановкой на базе анализа мощности и фациального состава пород.

Осадочный чехол Лено-Хатангского междуречья, изученный по естественным выходам и разрезам скважин, представлен двумя крупными комплексами пород: нижним рифейско-среднепалеозойским терригенно-карбонатным и верхнепалеозойско-мезозойским терригенным, разделенными стратиграфическими, часто структурными несогласиями.

Строение, состав и структура терригенно-карбонатного комплекса Анабаро-Ленской зоны ранее рассмотрены сотрудниками ИНГГ СО РАН [24].

В региональных стратиграфических схемах Н. П. Хераскова и Д. М. Колосова [26] образования верхнего палеозоя и мезозоя на востоке Сибири объединены в самостоятельный Верхоянский терригенный комплекс. Последние стратиграфические схемы приняты более 40 лет назад [17, 18] и уже не отвечают современной геолого-геофизической изученности. Это достаточно печальное обстоятельство открывает широкий простор для авторских схем литостратиграфического расчленения отложений, в том числе в легенде Анабаро-Вилуйской серии листов Госгеолкарт РФ м-ба 1:1 000 000 [10], с использованием условно валидных подразделений, невзирая на директивные документы, которые обязывают использовать легитимные, утвержденные МСК РФ стратиграфические схемы<sup>1</sup>. Во избежание

<sup>1</sup>В соответствии с пп. 1.5, 1.6 Положения о Межведомственном стратиграфическом комитете России. (прил. 1 к приказу МПР России от 01 июля 2000 г. № 145).



Рис. 1. Обзорная схема рассматриваемой территории

1 – глубокие скважины, площади бурения; 2 – положение композитного геолого-геофизического профиля

противоречий изложенные в статье построения осуществлены по крупным этапам развития осадочного чехла севера Сибири, примерно отвечающим периодам региональной стратиграфической шкалы, и являются важным элементом реконструкции эволюции осадконакопления.

Разрез верхнепалеозойско-мезозойского комплекса Сибири построен по принципу разноранговой трансгрессивно-регрессивной цикличности [2]. Комплекс составляет верхнюю терригенную часть осадочного чехла, повсеместно осложненного раннетриасовой вулканогенной (эффузивно-туфовой) толщей. В последние годы на востоке Северо-Сибирской низменности по результатам геолого-геофизических работ получены новые уточняющие материалы по ее геологическому строению.

Верхнепалеозойские отложения максимальной мощности вскрыты Усть-Оленекской скв. 2370 (инт. 2750–386 м) и Журавлиной скв. 1 (инт. 4083–1804 м), изучены в естественных выходах в районе Оленекского свода (там они имеют сокращенную мощность), в отдельных выходах севера Сибирской платформы и Восточного Таймыра. Триасовые (до 1350 м на мысе Цветкова, Восточный Таймыр), юрские (до 1592 м на Журавлиной площади) и ме-

ловые (до 900 м и более в Анабарском районе [19]) отложения относительно полно изучены по естественным выходам в долинах многочисленных рек и разрезах скважин.

Восточная часть Северо-Сибирской низменности в тектоническом отношении представлена северным склоном надпорядковой Анабарской антеклизы и двумя структурами I порядка – Анабаро-Хатангской седловиной (АХС) на западе и Лено-Анабарским мегапрогибом (ЛАМП) на востоке, граница между которыми проводится восточнее р. Анабар по линии древнего Уджинского глубинного разлома. На западе смежной этим структурам является Енисей-Хатангский региональный прогиб (ЕХРП), граница с которым прослежена по слабо выраженной флекуре на месте Таймыро-Котуйского глубинного разлома, на востоке – Предверхооянский краевой прогиб, но положение границы с ним однозначно не определено (рис. 2). Близ границы суши и моря Лаптевых, моноклиальное и пликвативное залегание платформенных отложений территории сменяется блоково-складчатым с несомненными признаками северных надвигов по типу левосторонних взбросо-сдвигов (рис. 3), среди которых на поверхности и в скважинах АХС

Рис. 2. Композитный временной геолого-сейсмический профиль по линии А-А (Восточный Таймыр – Оленекский свод) 1 – индекс сейсмического горизонта (В – кровля баженковского горизонта,  $T_1$  – кровля малышевского горизонта,  $T_4$  – кровля китербютского горизонта, III – подошва юрских отложений, VI – кровля пермских отложений, VIII – подошва верхнепалеозойских отложений); 2 – индекс возраста сейсмокомплексов; 3 – глубокие скважины; 4 – крупные разломы; на врезках: 5 – отсутствие отложений (мел), 6 – границы структур (I – Анабаро-Хатангская седловина, II – Лено-Анабарский мегапрогиб, III – Предверхооянский краевой прогиб, IV – Анабарская антеклизы), 7 – глубокие скважины, 8 – линия разреза; индексы свит и их аналогов:  $J_3sg$  – сировской,  $J_3-K_1ja$  – яновстанской; названия структур – по «Карте нефтегазо-геологического районирования Сибирской платформы» под ред. В. С. Старосельцева (Новосибирск: СНИИГТИМС, 2009)

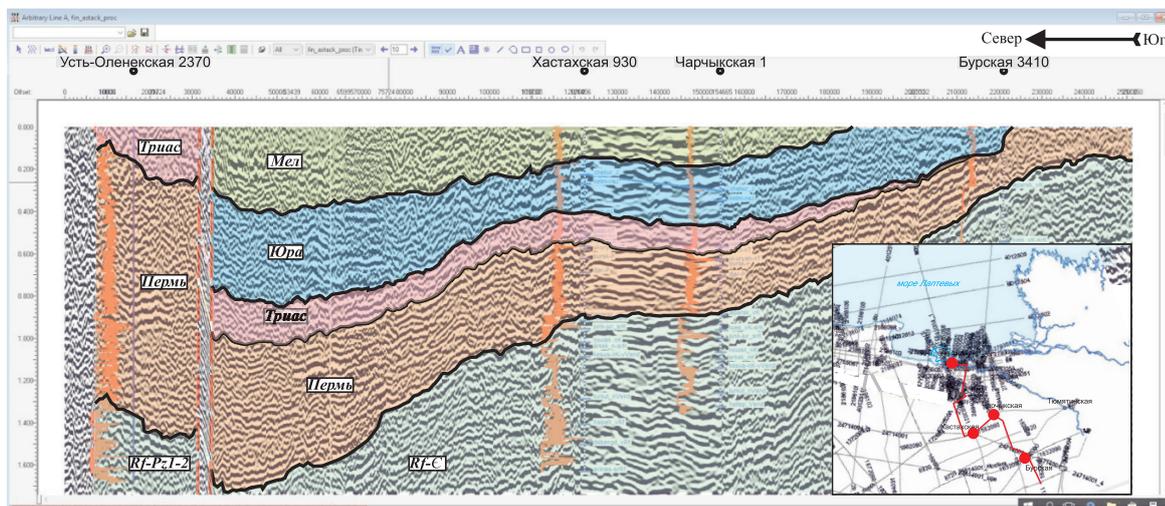
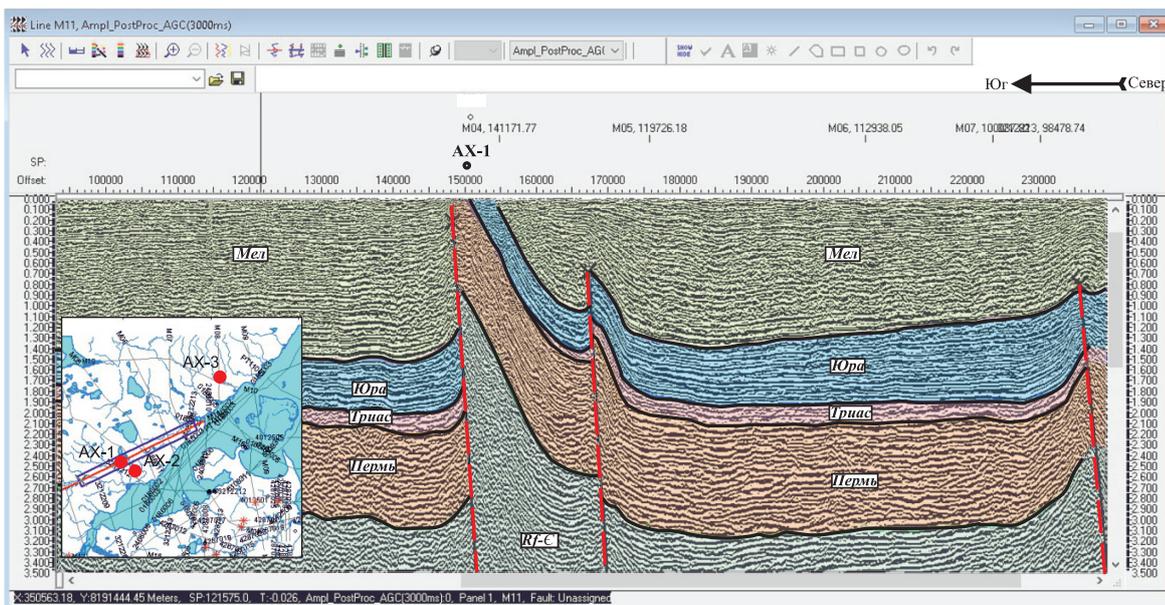
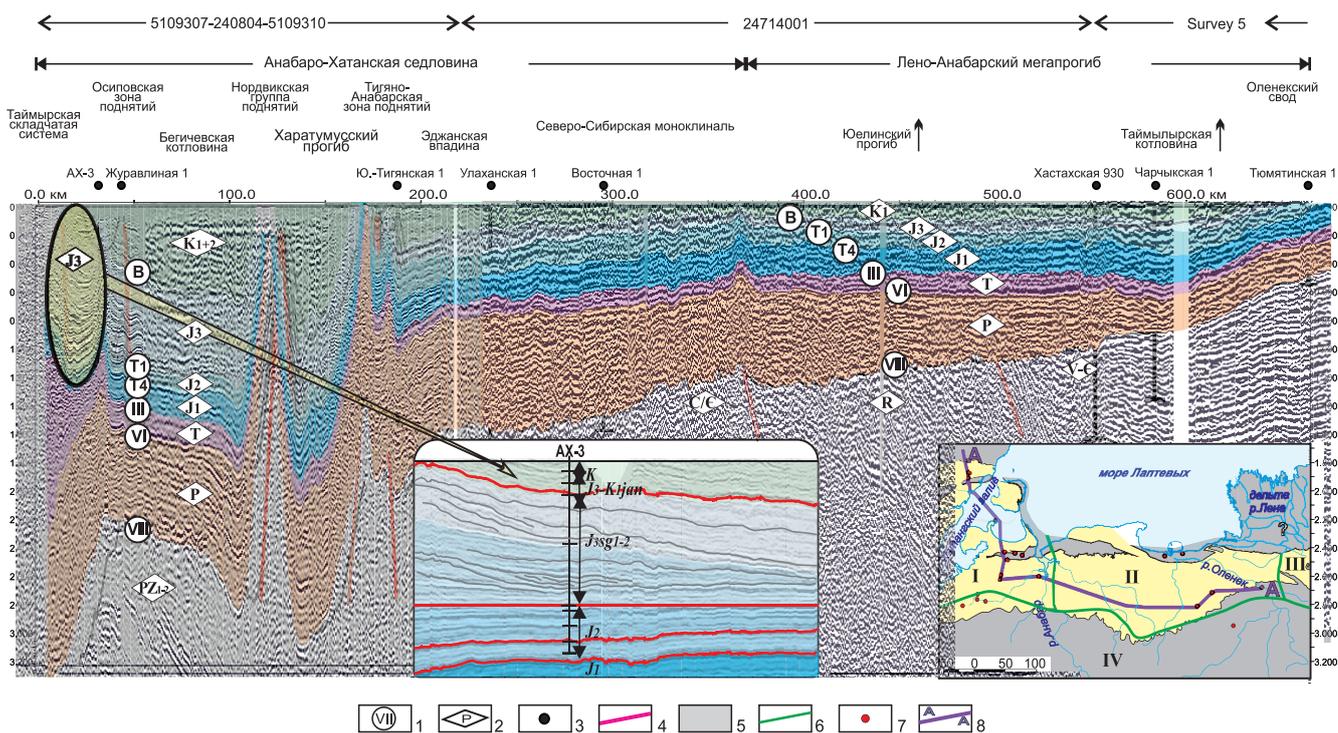


Рис. 3. Фрагменты временных сейсмических разрезов надвиговых зон



отмечены внедрения карбонатных пород и солей девона (Нордвикская, Кожевниковская и другие площади; см. рис. 1).

### Материал и методы исследований

Для реконструкции истории формирования терригенного верхнепалеозойско-мезозойского комплекса использованы материалы бурения глубоких скважин на территории Лено-Хатангского междуречья (около 118000 м) и близлежащих районов, данные отчетов, публикаций и геологической съемки, в том числе результаты изучения естественных обнажений, включая собственные. Эти материалы послужили основой интерпретации современных (интерпретируемых) сейсмических профилей общей протяженностью более 6 тыс. пог. км с составлением композитных маршрутов, выделением сейсмокомплексов, сопоставимых с верхнепалеозойско-мезозойскими эпохами седиментогенеза и построением геолого-геофизического разреза (см. рис. 1, 2).

Основным методом реконструкции истории развития послужил анализ мощности отложений, который, несмотря на возможные отклонения от истинных или первоначальных ее значений, дает представление о геологической ситуации осадочных бассейнов на время формирования тех или иных этапов седиментогенеза и об их эволюции. Анализ фациального облика отложений, помимо описаний ядра, интерпретации ГИС и сейсмической картины записи, включал результаты опубликованных и фондовых палеонтологических заключений [4, 6, 7, 12, 14, 20–23 и др.]. Для иллюстрации зон выклинивания отложений и положения зон разломов использованы материалы геологических карт (в основном «Геологическая карта Республики Саха (Якутия) м-ба 1:1 500 000» 2006 г. и «Карта полезных ископаемых Красноярского края, Республик Хакасия и Тыва м-ба 1:1 500 000» 2005 г.) с учетом интерпретации сейсмических разрезов. Для площади дельты р. Лена учтены материалы колонкового бурения, где под кайнозойскими отложениями, как и на о-ве Столб [14], вскрыты девонские образования [12], предполагаются блоки выходов фундамента [25].

### Результаты исследований

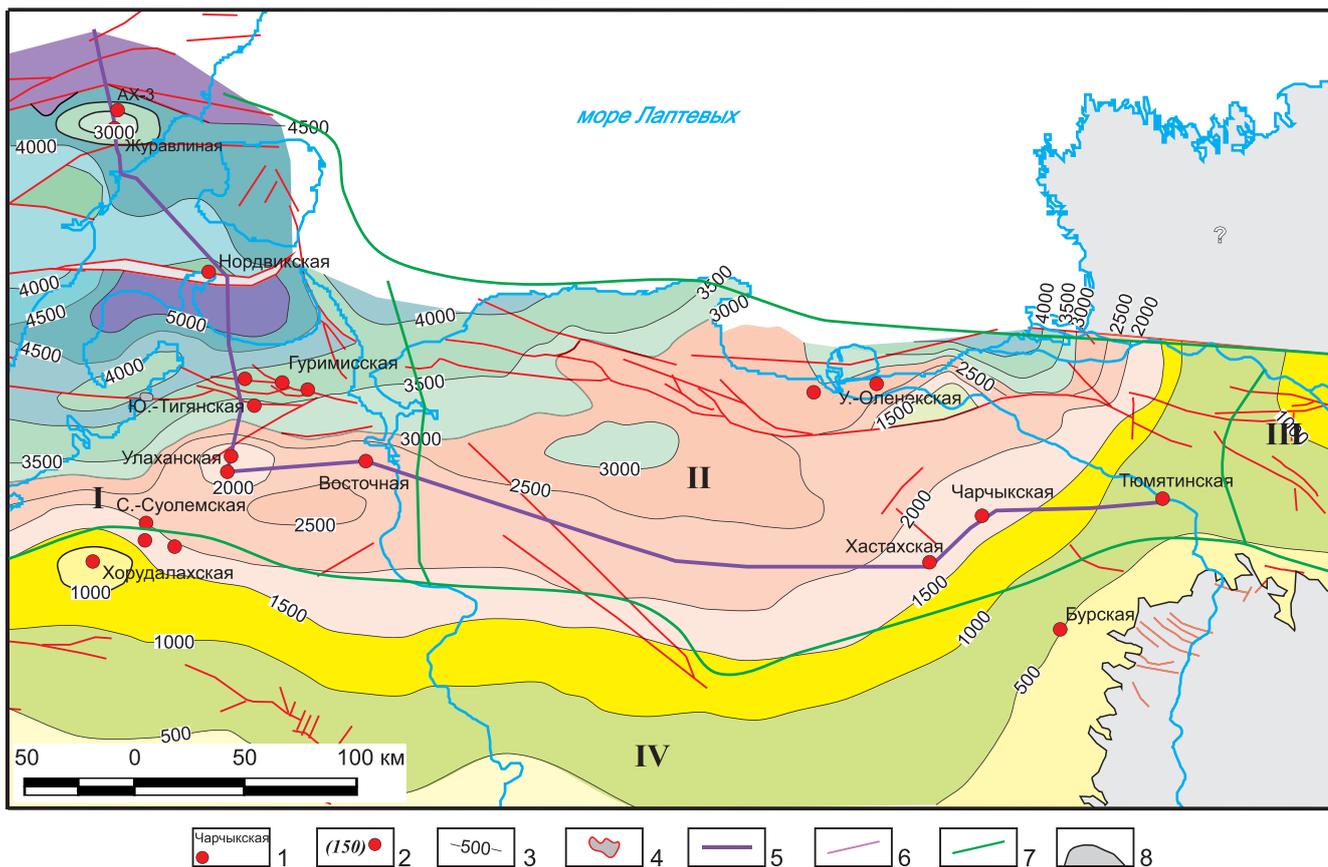
#### Общая характеристика

Анализ генерализированной суммарной мощности терригенного комплекса свидетельствует о закономерном ее увеличении на север от Оленекского свода в погруженные зоны Восточного Таймыра и низовьев Оленекской протоки (Проточная мегавпадина по [24]; рис. 4). По материалам бурения Тюмтинского профиля (фонды Якутского государственного союзного геологического управления, 1954 г.) мощность пермских отложений оценивается в 325 м, триасовых – 170 м, юрских – 540 м, меловых морских – 190 м, переходных – 32 м. В обрывах Оленекской протоки зафиксированная мощность триасовых отложений 788 м, юрских – 460 м, меловых – около 950 м

(рис. 4–8). Последние значения ближе к таковым для Предверхоанского краевого прогиба и, вероятно, связаны там с блоковым (троговым), строением разрезов. Выполненные построения иллюстрируют значительные изменения мощности пород в части пермских (верхнепалеозойских), юрских и меловых отложений (см. рис. 2, 4–8). Малый градиент изменения мощности триасовых образований, за исключением упомянутых погруженных зон, обусловлен различной стратиграфической полнотой разрезов, установленной по материалам бурения и изучения обнажений системы. Смена рассматриваемых стратиграфических интервалов во времени сопровождалась теми или иными значимыми тектоническими, в том числе эвстатическими, событиями – позднепалеозойским ( $C_3-P_1$ ), раннетриасовым, юрско-меловым, а также кайнозойским этапами тектогенеза [3].

В современном тектоническом плане Анабаро-Хатангская седловина рассматривается как промежуточная приподнятая зона между Енисей-Хатангским и Лено-Анабарским прогибами. Несответствие (асимметрия) распределения мощности комплексов (см. рис. 4, 5–8) и современного тектонического плана, отсутствие верхнемеловых отложений на территории ЛАМП (в отличие от АХС) свидетельствуют о том, что эти структуры окончательно сформированы в неотектонический этап тектогенеза с нарушением целостности залегания пород в пограничной полосе современных суши и моря. В мезозое и позднем палеозое на западе это в основном была система впадин и прогибов между Анабарским массивом и сформированной в триасе Таймырской складчатой системой, осложненная несколькими тектоническими этапами и совпадающая в плане с блоками крупного Хатангско-Тургайского линеамента [19], продолжающегося в море Лаптевых (Главный разлом по [25]). По мощности пород можно сделать заключение о формировании там нескольких систем прогибов в течении позднего палеозоя – мезозоя. В позднем палеозое и триасе область прогибания была приурочена к Восточному Таймыру и, вероятно, была продолжением дискретно трассирующегося в субширотном направлении Южно-Таймырского палеозойского прогиба (или Западно-Таймырской мульды по [15]). После завершения складчатости Горного Таймыра область прогибания постепенно смещалась на северо-восточное продолжение современного ЕХРП с максимумом в верхоянскую фазу тектогенеза и с последующим кайнозойским преобразованием конфигурации структурного плана территории.

Высказывалось мнение о том, что АХС – понятие по сути геоморфологическое, даже предлагалось именовать ее Хатангской впадиной [13]. Восточная граница градиента снижения значений мощности терригенного комплекса проходит на восточном борту АХС, по линии от Анабарского залива до низовий р. Котуй – вкrest простирающихся гравимагнитных аномалий, она совпадает с ориен-



**Рис. 4.** Схема изопачит верхнепалеозойско-мезозойских отложений

1 – глубокие скважины, площади бурения; 2 – эффузивная толща в основании триаса и ее мощность; 3 – изопачиты отложений и их значения; 4 – эффузивная толща в зоне выклинивания терригенного триаса; 5 – положение композитного сейсмогеологического разреза; 6 – тектонические нарушения; 7 – границы структур; 8 – отсутствие верхнепалеозойско-мезозойских отложений

тировкой западного склона Анабарского массива. Лено-Анабарский мегапрогиб и прилегающая часть Анабаро-Хатангской седловины, развивавшиеся на Анабарском и Оленекском блоках фундамента, являются более устойчивой во времени областью Сибирской платформы с субширотным (в общих чертах) простиранием изменения мощности стратонтов. В то же время разрезы Оленекской протоки и мыса Цветкова Восточного Таймыра (PZ<sub>3</sub>, T) выделяются повышенными значениями мощности систем.

Примечательно и различие в залегании терригенного комплекса на разновозрастных подстилающих образованиях, отражающих предысторию его формирования. В западной части (за пределами листа) на склоне северного погружения платформы терригенный комплекс залегает на ниже- и среднедевонских отложениях, на западе Анабарского района, по данным бурения, – на каменноугольных (а на юге – на кембрийских), как и на Таймыре; в Лено-Анабарском – на венд-кембрийских, что отражает его постоянно приподнятый характер. В погруженной части Оленек-Хатангского междуречья девонские отложения известны на северо-западе АХС (Нордвикский район) и в дельте р. Лена [12, 25], где не исключено присутствие нижнепалеозойских и более древних образований. В Усть-Оленекской скважине верхнепа-

леозойские отложения подстилаются силурийскими. По интерпретации композитного сейсмического профиля (см. рис. 2, профиль 24714001) в центральной части ЛАМП под верхнепалеозойскими образованиями намечаются выходы рифейских как возможное продолжение таковых Анабарской антеклизы. Это обстоятельство подтверждает положение о крупнейшей перестройке структурного плана территории на рубеже среднего и позднего палеозоя, а также различия в предыстории формирования структур, рассмотренные ранее [24].

**Верхний палеозой**

Верхнепалеозойские отложения, по существу, являются базальными слоями Верхоянского терригенного комплекса. Вследствие этого они представлены слабо сортированными породами, формировавшимися на огромной прибрежной равнине, периодически заливаемой морем, и отличаются резкой фациальной изменчивостью в стратиграфическом разрезе и по латерали. Они сложены всеми классами обломочного материала с пластами углей и отдельными уровнями, охарактеризованными остатками флоры, морских и пресноводных организмов. По аналогии с изученными районами востока Сибирской платформы, с которыми они генетически

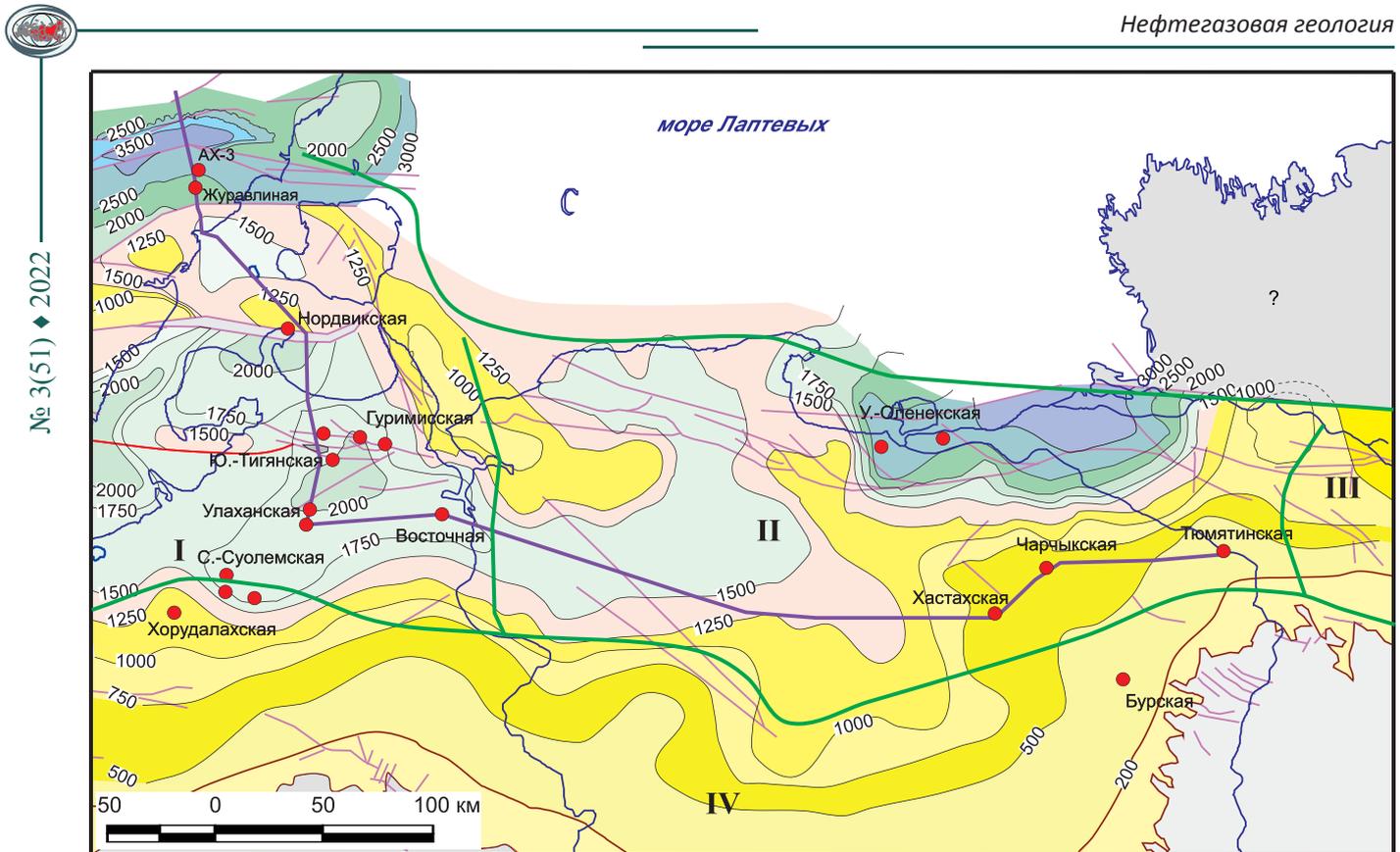


Рис. 5. Схема изопахит верхнепалеозойских отложений  
Усл. обозн. см. на рис. 4

связаны, можно выделить шесть трансгрессивно-регрессивных этапов формирования, два из которых (артинский и казанский) в разрезах колонковых скважин АХ-1, АХ-2 (АХС, близ западной границы листа) отмечены находками раковин морских двустворок (наряду с пресноводными), брахиопод, гастропод, фораминифер. При изучении керна Тюмятинского профиля отмечено, что микрофауна содержится в небольших по мощности прослоях, разделенных более мощными «немыми» пачками (по заключению А. Г. Шлейфер, НИИГА, 1954 г.). Полученные фораминиферовые комплексы сопоставлены с таковыми из ранее изученного А. А. Герке Нордвикского района [2], где также установлены оба отдела пермской системы. Ввиду спорадического отбора керна отдельные фаунистические определения имеют место и по другим глубоким скважинам, но макроостатков пока в керне не обнаружено, за исключением флористических. Такая характеристика отложений свидетельствует о крайне нестабильном морском режиме, часто сменяющемся лагунным и континентальным. На крайнем северо-западе (АХС, Нордвикский район) частота встречаемости фораминифер возрастает, на мысе Цветкова обнаружены раковины морских двустворок [11]. Такие же разрезы, вероятно более мористые, следует ожидать и в прилегающей акватории моря Лаптевых.

Значения мощности верхнепалеозойских отложений сокращены на границе АХС и ЛАМП и распространены неравномерно на всей территории, что может быть следствием несогласий в связи с па-

леопланом осадочного бассейна и последующими тектоническими процессами (рис. 5). Оленекская приподнятая зона по профилю скважин Говоровская 1 – Дьяпальская 1 – Тюмятинская 50 характеризуется небольшой мощностью: она минимальна в восточной части (193, 180, 282 м), а в разрезе Чарчкской и Хастахской площадей увеличивается до 594 и 582 м соответственно. Значительное увеличение мощности верхнего палеозоя, как и всего терригенного комплекса (С<sub>3</sub>–К), приурочено к При таймырскому району, а также к южной акватории моря Лаптевых (Усть-Оленекская площадь). Однако на некоторых локальных участках там фиксируется ее сокращение, скорее всего вследствие тектонических причин. Аналогичный состав и мощность описанных пермских отложений и Восточного Таймыра [16] свидетельствуют о едином позднепалеозойском осадочном бассейне на севере Сибири.

### Триас

Триасовые отложения (см. рис. 6) с фрагментарным (остаточным?) развитием нижнетриасовой эффузивно-туфовой (туфолавовой) толщи (0–280 м) характеризуются общей мощностью, которая закономерно увеличивается с юга на север и северо-запад до 400–500 м на побережье моря Лаптевых, достигая 1350 м на клифах мыса Цветкова и 788 м в обрывах Оленекской протоки [23]. На Восточном Таймыре значительно (до 2370 м) увеличена мощность нижнетриасовых вулканогенных образований [5, 16 и др.]. На мысе Цветкова пирокластический

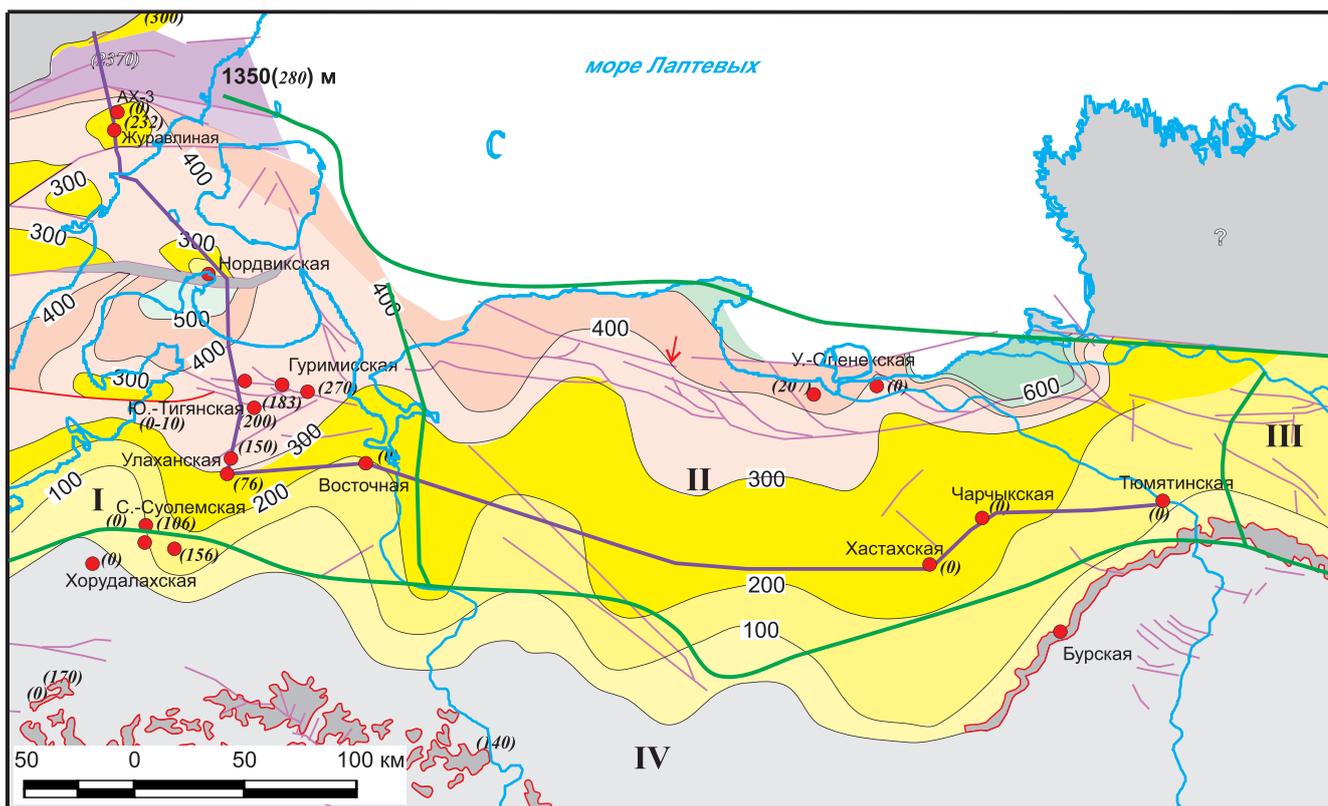


Рис. 6. Схема изопакит триасовых отложений  
Усл. обозн. см. на рис. 4

материал (возможно, переотложенный) встречается практически по всему разрезу системы. На Восточной и Улаханской площадях в основании триаса залегает средний его отдел, верхи системы размыты. На Суолемской и Южно-Тиганской площадях присутствует только туфолавовая толща, залегающая местами в Тигяно-Анабарской зоне поднятий на нижней перми (?); в разрезах Тюмятинской<sup>1</sup>, Чарчкской, Хастахской, Усть-Оленекской скважин вскрыт фактически только нижний отдел триаса, а верхний, в том числе венчающая разрез тумулская свита, отмечена исключительно на побережье моря Лаптевых, южнее она размыта. Описанная ситуация обусловлена рельефом дна осадочного бассейна на время накопления терригенной части триаса, выравниванием к концу периода базиса осадконакопления на большей части территории вследствие широкой ундуляции береговой линии морского бассейна.

Анализ соотношения зон максимальной мощности пермских и триасовых отложений (см. рис. 5, 6), наряду со стратиграфической неполнотой триаса, позволяет соотносить формирование блоково-склад-

<sup>1</sup>По данным Якутского государственного союзного геологического управления (1954 г.), в разрезе Тюмятинского профиля к нижнему триасу отнесена повсеместно развитая туффитовая толща (0–80 м) пестрого литологического состава. В кровле и подошве толщи – конгломераты, выше – горизонт «ленточного известняка» с включениями жидкого битума (чекановская свита нижнего оленека).

чатых Восточно-Таймырской и Лено-Оленекской систем с рубежом палеозоя и мезозоя – временем глобального рифтогенеза, интенсивного вулканизма и массового вымирания животного мира.

Терригенные триасовые образования сложены всеми классами осадочных континентальных, лагунных и морских фаций. В целом на территории в разрезах триаса, включая низовья р. Оленек, установлены три крупных трансгрессивно-регрессивных мегацикла, по времени соответствующие трем отделам системы. В породах найдены остатки амmonoидей, наутилоидей, двустворчатых моллюсков (морских и пресноводных), фораминифер, иглокожих, ракообразных и др., обломки минерализованной древесины, намывы растительного детрита. Угли отсутствуют. Находки амmonoидей, приуроченные к трансгрессивным уровням разреза, свидетельствуют о периодически нормально-морском режиме седиментогенеза, а пресноводных двустворок и эстерий – о лагунном и континентальном. Ограниченные стратиграфическими несогласиями триасовые отложения, как и пермские, представляют собой самостоятельный крупный мегасеквенс, обусловленный колебаниями уровня северных морей.

На Восточном Таймыре (до гор Бырранга на северо-западе) строение разреза аналогично такому на мысе Цветкова: снизу вверх вулканогенно-осадочные образования сменяются осадочными с уровнями морского седиментогенеза. Западнее триасовые образования представлены в отдельных

мульдах только нижними вулканогенными горизонтами систем ( $P_2-T_1$ ).

### Юра

Юрская система наиболее широко развита на территории с минимумом стратиграфических несогласий местного характера в среднем и верхнем отделах, которые убедительно датированы только в естественных выходах АХС (Анабарский залив) [20, 22, 23]. Местами на Нордвикской, Сопочной, Осиповской, Кирыко-Тасской зонах поднятий и других контрастных положительных структурах побережья моря Лаптевых отложения, как и более молодые толщи, полностью или частично размыты, в том числе за счет солянокупольной тектоники (см. рис. 2, 7). На западе разрез юрской системы четко дифференцирован на уровни глинистой и песчано-алевритовой седиментации, мощность нижнесреднеюрских отложений АХС до 600–800 м и более, максимальная (более 1000 м) – в Харатумусском прогибе и Бегицевской котловине. На территории ЛАМП мощность в среднем меньше (до 800 м), а разрез отличается существенно глинистым составом (за исключением батской чекуровской свиты), что отражает различия структур в морфологии бассейна, степени пенеплена и составе областей питания.

Мощности верхнеюрских отложений ( $J_3-K_1$ ) весьма быстро снижается с запада на восток от 950 м в скв. АХ-3 [8] до 55 м в Восточной скв. 1), в низовьях р. Оленек – 0–50 м (см. рис. 1, 2, 7).

Особенностью верхнеюрского разреза является клиноформное строение на участке, прилегающем к Восточному Таймыру [8] (см. рис. 2). В разрезе скв. АХ-3 клиноформы приурочены к уровню сиговской (чернохребетной по [5]) свиты (нижняя подсвита 247 м, верхняя 618 м; в том числе киме-ридский ярус 560 м). Особенно четко этот тип разреза иллюстрируется сейсмическим профилем 5109307 (ФГУП «Южморгеология») на Притаймырском участке. Севернее и южнее его клиноформы на профилях выражены слабо, отмечается лишь клиновидное строение толщи. Если принимать, что строение сиговского интервала разреза на северо-востоке Западно-Сибирского бассейна аналогичное, как и картина сейсмической записи его в Кубалахском районе ЕХРП, следует считать сиговское событие по меньшей мере региональным, а его формирование – приуроченным к оксфорду – кимериджу.

В разрезе юрских отложений установлено шесть маркирующих глинистых горизонтов (в ранге стратиграфических) от верхнеплинсабахского левинского до волжско-берриасского баженовского, отражающих колебания уровня моря [20]. Кроме этих уровней, следует упомянуть и геттангскую маркирующую глинистую пачку, широко распространенную на склонах Сибирской платформы [7]. Разрез юрских отложений на территории является эталонным, имеет преимущественно морской генезис, охарактеризован разнообразными фаунистическими комплексами, включая аммониты. В гене-

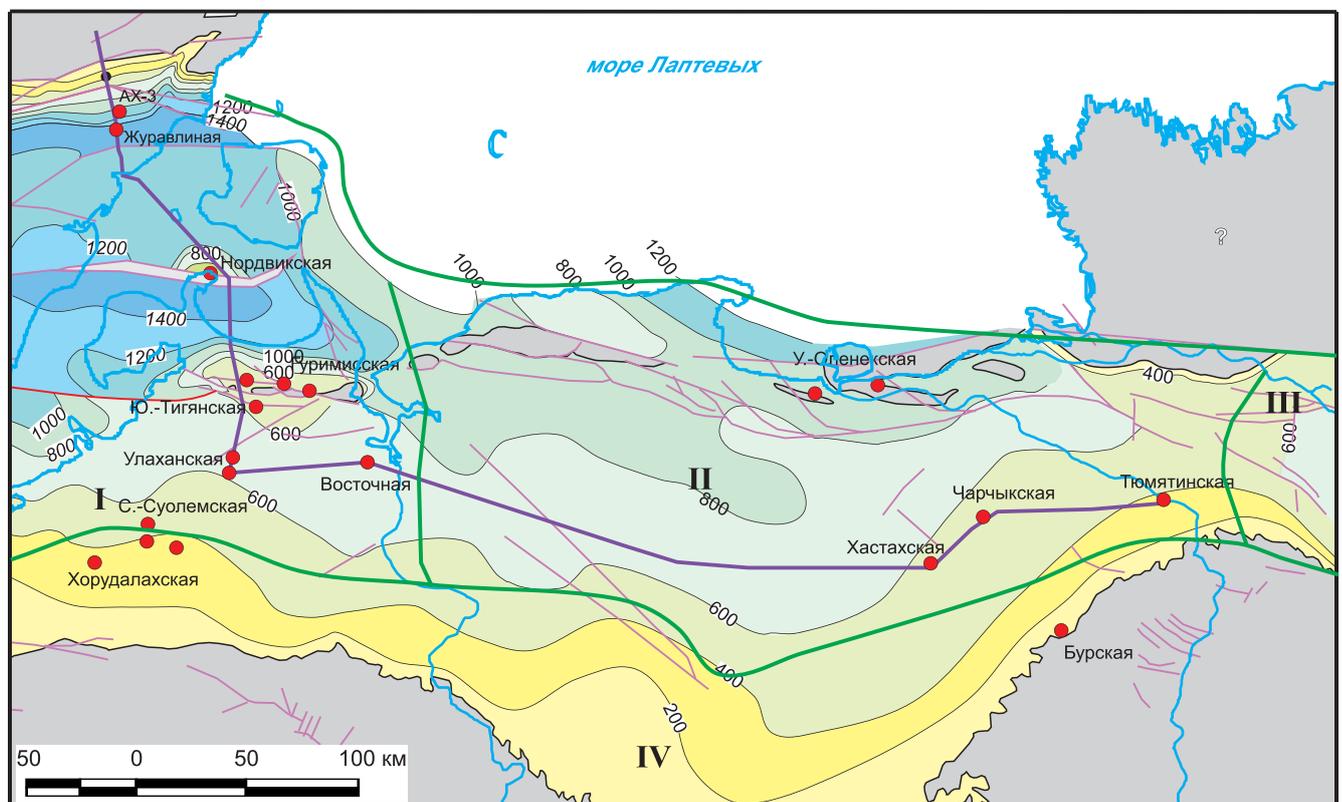


Рис. 7. Схема изопохит юрских отложений

Усл. обозн. см. на рис. 4

тическом отношении он тесно связан с вышележащими меловыми породами, образуя единую волжско-берриасскую толщу, известную под названием баженовского горизонта. Примечательно, что баженовский глинистый горизонт (битуминозный на п-ове Пакса) на крайнем востоке территории сменяется преимущественно песчаными образованиями с раковинами аммонитов и морских двустворок (чонокская свита, 0–200 м), а далее на юго-восток замещается угленосной континентальной бергеинской свитой (300–500 м и более). Учитывая описанные обстоятельства, неповсеместное (линзовидное в ряде разрезов восточной части территории) развитие аналогов точинской (бат – келловей) и сиговской (в том числе клиноформной на западе) свит, а также аналогичную ситуацию в ЕХРП и на Мессояхском пороге Западной Сибири (на крупных поднятиях там полностью или частично размыты верхнеюрские и частично нижнемеловые отложения), можно сделать вывод о том, что первые признаки верхоянской (позднекиммерийской) складчатости нужно относить к концу средней – поздней юре. Не исключено, что к этому времени имеют отношение и первые признаки формирования линейной зоны поднятий на побережье моря Лаптевых.

### Мел

Мощность меловых отложений на основной части территории Лено-Анабарского мегапрогиба и прилегающей части Анабаро-Хатангской сед-

ловины не превышает 400–500 м (см. рис. 8), в то время как на территории Анабаро-Ленской структурно-формационной зоны (СФЗ) листа S-50 она указана в среднем 975 м [6]. На борту ЛАМП в Хастахской скважине толщина нижнемеловых пород составляет 290 м, в Чарчкской около 300 м, а на северном борту (Улахан-Юряхская, Усть-Оленекская скважины) меловые отложения отсутствуют. В отрицательных структурах сложно построенной Анабаро-Хатангской седловины (Бегичевская котловина) мощность меловых образований превышает 1000 м, причем ее значения на АХС колеблются в очень широких пределах, вплоть до полного их отсутствия (см. рис. 2, 8). Такая ситуация в целом обусловлена жестким характером Оленекско-Анабарского блока фундамента среди районов с активизировавшейся верхоянской складчатостью и последующими постнеокомским (в низовьях р. Оленек установлено залегание аптских континентальных отложений на морских готеривских) и кайнозойским воздыманиями территории.

Разрез нижнемеловых отложений относительно четко подразделяется на нижнюю преимущественно морскую и верхнюю континентальную части. Положение этой границы полихронное: на север и на запад от Оленекского района она омолаживается от валанжина до баррема. На северном участке Тюмятинского колонкового профиля мощность морских меловых пород составляет 190 м, в бассейне р. Анабар – около 300 м, в Хатангском

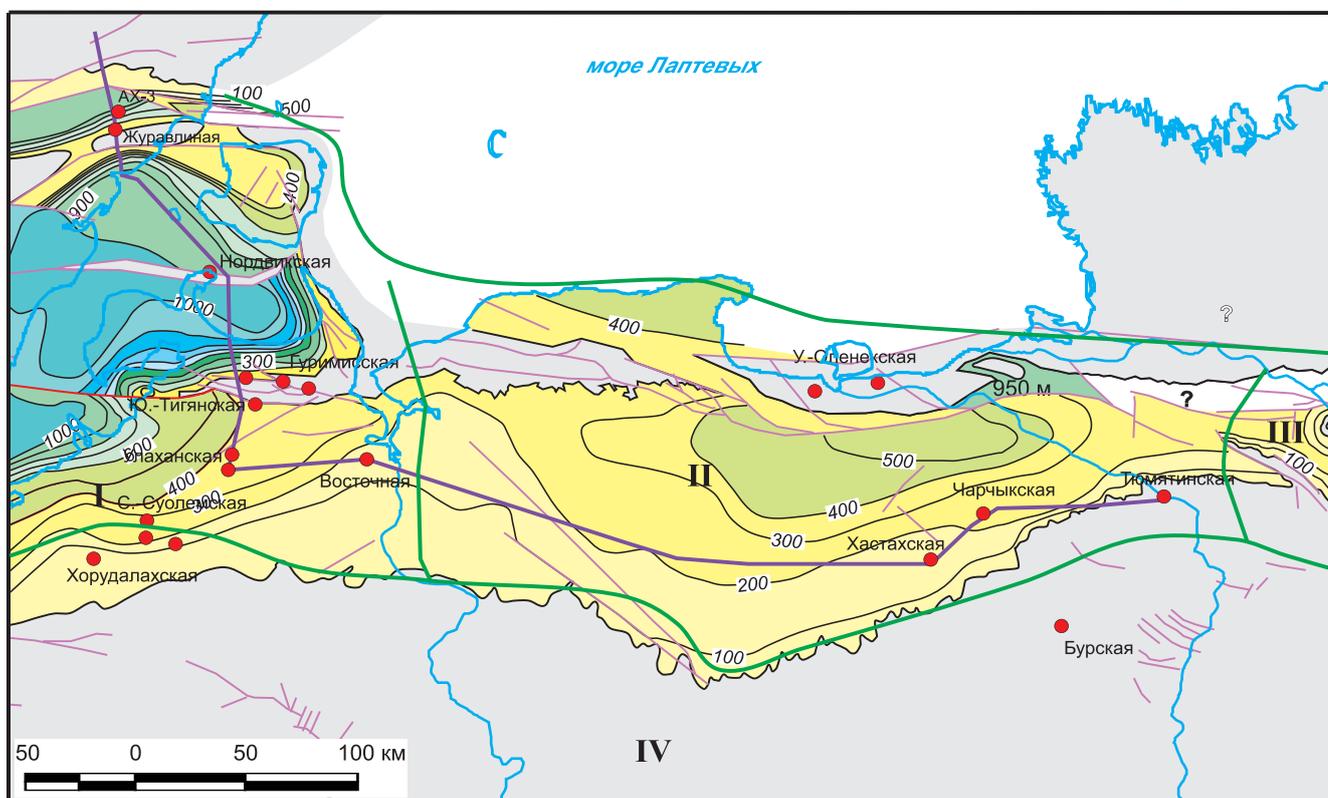


Рис. 8. Схема изопакит меловых отложений

Усл. обозн. см. на рис. 4

районе и на о. Бол. Бегичев – около 400 м, что подчеркивает асимметрию строения бассейна. Снизу вверх по разрезу существенно глинистые породы сменяются алеврито-песчаными, отражая регрессивный характер осадконакопления, с редкими пачками трансгрессивных глинистых уровней. Породы содержат остатки типично морских организмов, количество и разнообразие которых постепенно снижается.

Континентальный разрез представлен слабо изученной угленосной тощей, формировавшейся преимущественно на континентальной равнине в условиях разветвленной речной сети, многочисленных зарастающих озер; содержит следы внутриформационных размывов, включая крупные валуны и конгломераты, остатки крупнолиственной флоры, корневых систем, линзы, куски и пласты угля рабочей мощности. Толщина континентальных меловых отложений установлена в колонках Тюматинского профиля (максимум 336 м).

Верхнемеловые отложения известны на западе АХС (бассейн р. Новая) и представлены внизу бегичевской свитой (альб–сеноман) – песками с гравием и галькой, редкими прослоями алевритов и глин, часто плохо сортированными, с линзами и пластами гравия, гальки, угля, с обломками обугленной или сидеритизированной древесины, изредка с включениями янтаря. Свита содержит остатки крупнолиственной флоры, залегает с размывом или согласно на подстилающих образованиях, перекрывается четвертичными породами. Видимая мощность свиты до 68 м. В междуречье Хеты и Хатанги в полном верхнемеловом разрезе отмечены прослои пород, содержащих морские двусторонки и комплексы фораминифер с обильным пресноводным микрофитопланктоном [17]. Аналогичное строение, вероятно, имеют наиболее полные разрезы на западных участках Анабаро-Хатангской седловины и на прилегающей Лаптевоморской акватории.

## Выводы

Терригенный комплекс рассматриваемой территории формировался на относительно жестком блоке земной коры, охватывающем отроги Анабарского и Оленекского массивов, окруженном складчатыми областями позднепалеозойского ( $C_3-P_1$ ), раннетриасового ( $P_2-T_1$ ), юрско-мелового ( $J_3-K_1$ ) и неотектонического ( $P-Q$ ) этапов тектогенеза. Эпохи тектогенеза на площади отражены, в том числе, вариациями значений мощности комплексов, связанных с неоднократной структурной перестройкой. Судя по увеличению во времени площади линейной субширотной зоны поднятий на севере, территория испытала тангенциальное сжатие перпендикулярно склону платформы. Все периоды, за исключением юры и мела, на всей или большей части площади в той или иной мере разделены стратиграфически несогласиями, образуя крупные мегасеквенсы.

Анализ мощности терригенного комплекса, формировавшегося на разновозрастном терригенно-карбонатном комплексе ( $R-C_1$ ), позволяет отметить области основного прогибания и захоронения осадков, приуроченные к трансрегиональному Хатангско-Тургайскому – Главному разломам и Проточной мегавпадине по [24] (см. рис. 4–8), т. е. к зонам сочленения платформы с современными складчатоблоковыми областями.

Формирование структур окончательно завершилось в кайнозое. Об этом свидетельствуют, помимо морфологии сейсмической картины записи, практически неизменный на участках состав разреза (обусловленный обстановками седиментогенеза и составом областей питания) и распределение мощности разновозрастных пород при ее резких изменениях вблизи крупных разломов, обновленных в кайнозое. Структурные перестройки приурочены к началу и концу позднего палеозоя – раннему триасу, инициальные этапы верхоянской складчатости соотносятся с концом средней – поздней юры – мелом и сопровождалась формированием верхнесиговских клиноформ на северо-востоке Западной Сибири, в ЕХРП и на Восточном Таймыре, размывом верхнеюрских и нижнемеловых отложений на контрастных поднятиях севера Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты. Неотектонический этап обусловлен формированием блоково-складчатых систем Северного Ледовитого океана и отражен в современном рельефе обновленными кулисами кряжей Прончищева, Чекановского, Тигяно-Анабарской системой линейных поднятий и далее в ЕХРП.

Позднепалеозойский этап, являющийся базальным для терригенного комплекса, ознаменовал резкий переход от терригенно-карбонатного типа седиментогенеза к терригенному. Он охарактеризован крайней фациальной изменчивостью вследствие формирования на прибрежной равнине, заливавшейся морем. Лавинную седиментацию испытывали северо-западные районы и Нижнеоленинская зона, сочленяющиеся с акваторией моря Лаптевых: до 65 В (единиц Бубнова) [1] в Притаймырской и Приленской зонах против 35 В и менее на основной территории. Конец перми – начало триаса характеризовались мощным вулканизмом, вероятно щелевого типа, как части глобального рифтогенеза, проявившегося в северо-западном сегменте Земли, с максимумом излияния продуктов вулканизма на Таймыре и по долгоживущим разломам, с формированием вулканогенно-терригенной толщи с последующим воздыманием, эрозией и относительным выравниванием территории. Терригенные триасовые породы формировались уже на моноклином склоне Сибирской платформы. Они являются переходными от нормально-морских, лагунных и, реже, континентальных отложений к юрско-раннемеловым нормально-морским, причем отличаются широкими ундуляциями уровня северных морей



(скорость накопления пород до 26 В на мысе Цветкова против 6 В в ЛАМП). В юре и раннем мелу широкое развитие получили морские фации. Во второй половине раннего мела на территории формировались континентальные толщи. Верхнемеловые отложения на территории ЛАМП отсутствуют. Главная область прогибания и накопления осадков в юре и мелу сместилась в Нордвикский район (в юре до 25 В против 5 В восточнее, в мелу 13 В против 5 В), что отражает тектоническую дифференциацию зон седиментогенеза в верхоянскую эпоху складчатости. Максимальная скорость осадконакопления терригенного комплекса снижалась по мере взросления осадочного бассейна от системы к системе, а на основной части территории (междуречье Анабара и Оленека) в мезозое оставалась практически постоянной.

В конце валанжина–барреме на основной части территории постепенно установился континентальный режим с редкими ингрессиями в поздне-меловую эпоху по прогнутой Притаймырской зоне. Общее неотектоническое воздымание Северо-Сибирской низменности амплитудой 300–400 м [1] с элементами дизъюнктивной тектоники обусловило современное ее геологическое строение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бубнов С. Н.** Основные проблемы геологии. – М.: МГУ, 1960. – 233 с.
- Будников И. В., Девятков В. П.** Модель терригенной седиментации позднепалеозойско-мезозойских бассейнов Сибири // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 9–15.
- Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.
- Герке А. А.** Фораминиферы пермских, триасовых и лейасовых отложений нефтеносных районов Севера Центральной Сибири. – Л.: Гостоптехиздат, 1954. – 520 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист S-49 – Хатангский залив: объяснительная записка / гл. ред. В. Ф. Проскурнин. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 314 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-50 – Усть-Оленек: объяснительная записка / гл. ред. В. Ф. Проскурнин. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. – 264 с.
- Девятков В. П.** Стратиграфия и палеогеография нефтегазоносных нижнесреднеюрских отложений Сибири: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Томск, 2000. – 37 с.
- Девятков В. П., Никитенко Б. Л., Павлухин И. С.** Верхнеюрский клиноформный комплекс Хатангского района // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Науч. матер. VII Всерос. совещ. – М., 2017. – С. 47–52.
- Калинко М. К.** История геологического изучения и разведки нефти и других полезных ископаемых на территории Анабаро-Хатангского междуречья // Сб. статей по нефтеносности Советской Арктики. – М.; Л., 1954. – С. 3–48. – (Тр. НИИГА; вып. 3, т. 78).
- Легенда** Анабаро-Виллюйской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение): объяснительная записка / сост.: М. С. Машак, А. П. Кропачев, Г. Г. Сотникова и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 325 с.
- Мигай И. М.** Геологическое строение района мыса Цветкова на Восточном Таймыре / под ред. В. Н. Сакса. – Л.; М. Изд-во Главсевморпути, 1952. – 60 с. – (Тр. НИИГА; т. XXXVI).
- Новые** данные о геологическом строении дельты р. Лена и перспективах алмазоносности Арктического региона / С. А. Граханов, А. В. Прокопьев, О. С. Граханов и др. // Отечественная геология. – 2013. – № 5. – С. 33–40.
- Новые** данные о строении зоны сочленения Анабаро-Хатангской седловины и Лено-Анабарского регионального прогиба / В. И. Савченко, А. С. Ефимов, В. А. Лыгин и др. // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири: матер. 2-й науч.-практ. конф. Т. 1. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2015. – С. 105–108.
- Новые** данные по биостратиграфии и седиментологии верхнедевонских отложений о. Столб (дельта р. Лена) / А. Ю. Языков, Н. Г. Изох, С. В. Сараев и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1013–1027.
- Основные** результаты работ ГНЦ ФГУП «Южморгеология» в транзитных зонах акваторий морей России / А. П. Пронкин, В. И. Савченко, А. К. Цехмейстрюк, Б. В. Шумский // Геология нефти и газа. – 2011. – № 6. – С. 21–30.
- Погребницкий Ю. Е.** Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. – Л.: Недра, 1971. – 248 с. – (Тр. НИИГА; т. 166).
- Решения** 3-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири. Новосибирск, 1978 г. / отв. ред. В. Н. Сакс, А. В. Гольберт А. С. Дагис и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1981. – 91 с.
- Решение** Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою, четвертичной системе Средней Сибири. Ч. 2. Средний и верхний палеозой / гл. ред. В. Е. Савицкий. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1982. – 130 с.
- Старосельцев В. С.** Трансрегиональные линейaments и движения плит // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 15–20.
- Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система / ред. Б. Н. Шурыгин. – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2000. – 480 с.
- Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Триасовая система / гл. ред. А. Э. Конторович. – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2002. – 322 с.



22. **Стратиграфия** юрской и меловой систем севера СССР / В. Н. Сакс, З. З. Ронкина, Н. И. Шульгина и др. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 229 с.

23. **Стратиграфия** юрской системы севера СССР / отв. ред. В. Н. Сакс. – М.: Наука, 1976. – 438 с.

24. **Структурно-тектоническая** характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны / В. А. Конторович, А. Э. Конторович, И. А. Губин и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1253–1274.

25. **Тектоническая** карта морей Карского и Лаптевых и севера Сибири (масштаб 1:2 500 000): объяснительная записка / под ред. Н. А. Богданова, В. Е. Хаина. – М.: Изд-во ин-та литосферы окраинных и внутренних морей РАН, 1998. – 127 с.

26. **Херасков Н. П., Колосов Д. М.** Геология и геоморфология Западного Верхоянья // Тр. ВИМС. – 1938. – Вып. 116. – 120 с.

## REFERENCES

1. Bubnov S.N. *Osnovnyye problemy geologii* [The main problems of geology]. Moscow, MSU Publ., 1960. 233 p. (In Russ.).

2. Budnikov I.V., Devyatov V.P. [Model of terrigenous sedimentation of Late Paleozoic–Mesozoic basins of Siberia]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2007, no. 8, pp. 9–15. (In Russ.).

3. Kontorovich A.E., Surkov V.S., Trofimuk A.A., eds. *Geologiya nefi i gaza Sibirskoy platformy* [Oil and gas geology of the Siberian Platform]. Moscow, Nedra, 1981. 552 p. (In Russ.).

4. Gerke A. A. *Foraminifery permskikh, triasovykh i levasovykh otlozheniy neftenosnykh rayonov Severa Tsentralnoy Sibiri* [Foraminifera of Permian, Triassic and Liassic deposits of oil-bearing areas of the North of Central Siberia]. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1954. 520 p. (In Russ.).

5. Proskurnin V.F., ed. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). List S-49 Khatangskiy zaliv. Obyasnitelnaya zapiska*. [State Geological Map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (third generation). Sheet S-49 Khatanga Bay. Explanatory note]. Saint Peterburg, VSEGEI Publ., 2007. 314 p. (In Russ.).

6. Proskurnin V.F., Shkarubo S.I., Zavarzina G.A., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Laptevo-Sibiromorskaya. List S-50 – Ust-Olenek. Obyasnitelnaya zapiska* [State Geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (third generation). Laptevo-Sibiromorskaya Series. Sheet S-50 – Ust-Olenek. Explanatory note]. Saint Peterburg, VSEGEI Publ., 2017. 264 p. (In Russ.).

7. Devyatov V.P. *Stratigrafiya i paleogeografiya neftegazonosnykh nizhnesredneyurskikh otlozheniy Sibiri. Avtoref. dokt. dis.* [Stratigraphy and paleogeography of petroleum Lower–Middle Jurassic sediments of

Siberia. Author's abstract of DSc thesis]. Tomsk, 2000. 37 p. (In Russ.).

8. Devyatov V.P., Nikitenko B.L., Pavlukhin I.S. [The Upper Jurassic clinoform complex of the Khatanga district]. *Yurskaya sistema Rossii: problemy stratigrafii i paleontologii. VII Vserossiyskoye soveshchaniye: Moskva, 18–22 sentyabrya 2017* [Jurassic System of Russia: Problems of Stratigraphy and Paleontology. 7<sup>th</sup> All-Russian Conference, Moscow, September 18–22, 2017]. Moscow, 2017, pp. 47–52. (In Russ.).

9. Kalinko M.K. [History of geological study and exploration of oil and other minerals on the territory of the Anabar-Khatanga interfluvium]. *Sbornik statey po neftenosnosti Sovetskoy Arktiki: Trudy NIIGA* [Collection of articles on the oil content of the Soviet Arctic: Works of NIIGA, issue 3, vol. 78]. Moscow, Leningrad, 1954, pp. 3–48. (In Russ.).

10. Mashchak M.S., Kropachev A.P., Sotnikova G.G., et al. *Legenda Anabaro-Viluyskoy serii listov Gosudarstvennoy geologicheskoy karty Rossiyskoy Federatsii. Obyasnitelnaya zapiska* [Legend of the Anabar-Vilyuy block of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:1,000,000 (3<sup>rd</sup> generation). Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2009. 325 p. (In Russ.).

11. Migay I.M. [Geological structure of the Cape of Tsvetkov in East Taimyr]. *Trudy NIIGA*. Leningrad, Moscow, Glavsevmorput Publ., 1952, vol. 36. 60 p. (In Russ.).

12. Grakhanov S.A., Prokopyev A.V., Grakhanov O.S., et al. [New data on the geology of the Lena River delta area and the diamond potential of the Arctic region]. *Otechestvennaya geologiya*, 2013, no. 5, pp. 33–40. (In Russ.).

13. Savchenko V.I., Efimov A.S., Lygin V.A., et al. [New data on the structure of the conjunction zone of the Anabar-Khatanga saddle and Lena-Anabar regional trough]. *Geologiya, geofizika i mineralnoye syrye Sibiri. Materialy 2-y nauch.-prakt. konf. T. 1* [Geology, geophysics and raw materials of Siberia. Materials of the 2<sup>nd</sup> Scientific and Practical Conference. Vol. 1]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2015, pp. 105–108. (In Russ.).

14. Yazikov A.Yu., Izokh N.G., Saraev S.V., et al. [New data on the Upper Devonian biostratigraphy and sedimentology of Stolb Island (Lena River delta)]. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 780–791.

15. Pronkin A.P., Savchenko V.I., Tsekhmestryuk A.K., Shumsky B.V. [The main results of activity of GSC FGUGP Yuzhmorgeology in transit zones of water areas of Russia's seas]. *Geologiya nefi i gaza – Russian Oil and Gas Geology*, 2011, no. 6, pp. 21–30. (In Russ.).

16. Pogrebitskiy Yu.E. *Paleontologicheskii analiz Taymyrskoy skladchatoy sistemy* [Paleotectonic analysis of the Taimyr fold system]. Leningrad, Nauka Publ., 1971. 248 p. (In Russ.).

17. Saks V.N., Golbert A.V., Dagens A.S., eds. *Resheniya 3-go Mezhvedomstvennogo regionalnogo so-*



*veshchaniya po mezozoyu i kaynozoyu Sredney Sibiri* [Decisions of the 3<sup>rd</sup> Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on the Mesozoic and Cenozoic of Middle Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1981, 91 p. (In Russ.).

18. Savitskiy V.E., ed. *Resheniye Vsesoyuznogo stratigraficheskogo soveshchaniya po dokembriyu, paleozoyu, chetvertichnoy sisteme Sredney Sibiri. Chast 2. Sredniy i verkhniy paleozoy* [The decision of the All-Union Stratigraphic Meeting on the Precambrian, Paleozoic, Quaternary system of Central Siberia. Part 2. The Middle and Upper Paleozoic]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1982. 130 p. (In Russ.).

19. Staroseltsev V.S. [Trans-regional lineaments and plate movements]. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2007, no. 8, pp. 15–20. (In Russ.).

20. Shurygin B.N., ed. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Yurskaya sistema* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. The Jurassic System]. Novosibirsk, UIGGM SB RAS Publ., 2000. 480 p. (In Russ.).

21. Kontorovich A.E., ed. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Triasovaya sistema* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. The Triassic Sys-

tem]. Novosibirsk, UIGGM SB RAS Publ., 2002. 322 p. (In Russ.).

22. Saks V.N., Ronkina Z.Z., Shulgina N.I., et al. *Stratigrafiya yurskoy i melovoy sistem severa SSSR* [Stratigraphy of the Jurassic and Cretaceous systems of the north of the USSR]. Moscow, Leningrad, AS USSR Publ., 1963. 229 p. (In Russ.).

23. Saks V.N., ed. *Stratigrafiya yurskoy sistem severa SSSR* [Stratigraphy of the Jurassic System of the north of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 438 p. (In Russ.).

24. Kontorovich V.A., Kontorovich A.E., Gubin I.A., et al. [The Neoproterozoic and Phanerozoic section of the Anabar-Lena Province: structural framework, geological model and petroleum potential]. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 980–996. (In Russ.).

25. Bogdanov N.A., Khain V.E., eds. *Tektonicheskaya karta morey Karskogo i Laptevskikh i severa Sibiri (masshtab 1:2 500 000)* [Tectonic map of the Kara and Laptev seas and the north of Siberia (scale 1:2, 500,000)]. Moscow, 1998, 127 p. (In Russ.).

26. Kheraskov N.P., Kolosov D.M. [Geology and geomorphology of the West Verkhoyanye]. *Trudy VIMS, vyp. 16*, Moscow, 1938. 120 p. (In Russ.).

© В. П. Девятков, 2022



УДК 553.041:553.982:553.984:552.58

## НЕФТЕГАЗМАТЕРИНСКИЕ ПОРОДЫ И ПРОБЛЕМА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ АЛДАНО-МАЙСКОЙ ВПАДИНЫ (ЮГО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

П. Н. Соболев, С. В. Дыхан

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Выполнен анализ имеющихся представлений о распространении нефтегазоматеринских толщ в осадочном разрезе Алдано-Майской впадины – крупной краевой структуры на юго-востоке Сибирской платформы. С учетом новых материалов критически рассмотрены нефтегазогенерационные возможности указанных толщ, уточнены представления предшествующего периода исследований. На этой основе составлена схема нефтегазогеологического расчленения осадочного чехла Алдано-Майской впадины. Выделены основные элементы углеводородных систем, включающие прогнозные нефтегазоносные комплексы и нефтегазоматеринские толщи, дан прогноз возможных типов ловушек для различных частей впадины. На этой основе составлена схематическая карта прогноза нефтегазоносности впадины и прилегающих территорий.

**Ключевые слова:** нефтегазоматеринские породы, доманикойдные отложения, нефтегазогеологическое расчленение разреза, перспективы нефтегазоносности.

## OIL-AND-GAS SOURCE ROCKS AND THE PROBLEM OF PETROLEUM POTENTIAL OF THE ALDAN-MAYA DEPRESSION (SOUTH-EAST OF THE SIBERIAN PLATFORM)

P. N. Sobolev, S. V. Dykhan

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The analysis of existing understandings about distribution of oil-and-gas source rocks was performed for sedimentary section of the Aldan-Maya depression, the large margin structure in the south-east of the Siberian Platform. Taking into account new materials, the oil-and-gas generating potential of these strata was critically examined, and the ideas of previous research period were defined more precisely. On this basis, the sketch map of oil-and-gas bearing stratigraphic breakdown of the Aldan-Maya depression sedimentary cover was compiled. The main elements of hydrocarbon systems, including predicted petroleum plays and petroleum bearing strata were identified, forecast of possible types of traps for various parts of the depression was given. Based on this experience, the contour map of the petroleum potential forecast for the Aldan-Maya depression and adjacent territories was compiled.

**Keywords:** oil-and-gas source rocks, domanikoid deposits, oil-and-gas bearing stratigraphic breakdown of section, petroleum potential.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-30-38

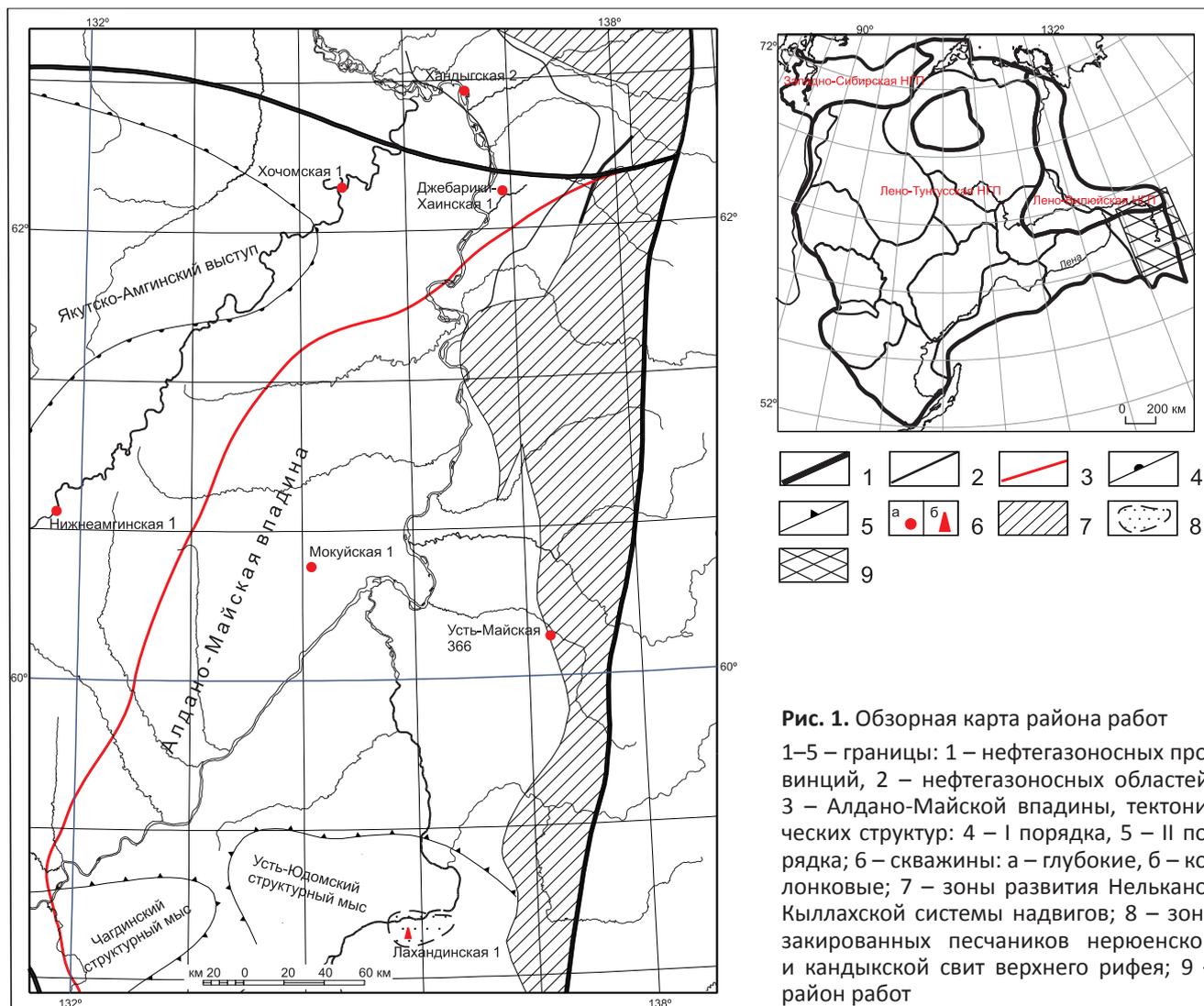
Алдано-Майская впадина – крупная отрицательная структура, заложившаяся на северо-восточной окраине Алданской антеклизы Сибирской платформы. На севере она примыкает к Предверхоянскому краевому прогибу; западная граница соответствует распространению рифейских отложений на востоке Алданской антеклизы. На востоке впадина ограничивается зоной Нелькано-Кыллахских надвигов. В административном отношении большая часть площади находится на территории Республики Саха (Якутия), лишь крайняя юго-восточная часть относится к Хабаровскому краю (рис. 1).

По поверхности кристаллического фундамента впадина представляет собой моноклираль, плавно погружающуюся с запада на восток, под складчатые структуры Южно-Верхоянской складчатой системы. Такой же структурный план характерен для рифейских образований, которые представлены всеми отделами и слагают основную часть осадочного чехла впадины. На востоке, в зоне сочленения с Южно-Верхоянской складчатой системой (зоной Нелькано-Кыллахских надвигов) мощность рифейских

толщ достигает 6 км, а в западном направлении она сокращается, постепенно толщи выклиниваются по мере омоложения слагающих ее стратиграфических подразделений, вплоть до полного выпадения из разреза в междуречье Амги и Алдана. Рифейские отложения, составляющие нижний структурный ярус осадочного чехла, с размывом и угловым несогласием перекрываются венд-кембрийскими, образующими второй структурный ярус. При этом в отдельных разрезах венда фиксируется отсутствие нижней части (юкандинской свиты). В свою очередь, кембрийские породы несогласно залегают на вендских [21].

Породы венд-кембрийского структурного яруса с глубоким размывом перекрываются континентальной толщей юры, формирующей мезозойский структурный ярус.

Одним из важных и обязательных условий нефтегазоносности осадочных бассейнов считается присутствие в осадочном разрезе нефтегазоматеринских толщ (НГМТ), которые претерпели в ходе геологической истории катагенетические преоб-



**Рис. 1.** Обзорная карта района работ  
 1–5 – границы: 1 – нефтегазоносных провинций, 2 – нефтегазоносных областей, 3 – Алдано-Майской впадины, тектонических структур: 4 – I порядка, 5 – II порядка; 6 – скважины: а – глубокие, б – колонковые; 7 – зоны развития Нелькано-Кылахской системы надвигов; 8 – зона закированных песчаников нерюенской и кандыкской свит верхнего рифея; 9 – район работ

разования, необходимые для развития процессов генерации и эмиграции углеводородов (УВ). Предлагаемая статья посвящена в основном именно этому вопросу. Целью ее является критическое рассмотрение сложившихся в предшествующие годы представлений о НГМТ региона с учетом материалов, полученных в последние годы.

Перспективы нефтегазоносности Алдано-Майской впадины еще в 1960–1970-е гг. оценивались положительно [7, 9, 13, 15, 22]. Основанием для этого служили многочисленные нефтебитумопроявления, фиксируемые в различных районах Алдано-Майской впадины. При этом серьезной проблемой, осложняющей достоверность прогноза, можно считать крайне низкую изученность разреза глубоким бурением. В указанные годы, по существу, прогноз основывался на изучении рифейских и вендских отложений Алдано-Майской впадины только в районе ее южной периклинали, где эти толщи были доступны для наблюдения в естественных обнажениях. До 2015 г. на территории впадины, в краевых ее частях, были пробурены всего две скважины – Мокуйская 1 и Лахандинская 1. Мокуйская скв. 1 пробурена в 1981 г. в крайней западной части впадины, где

практически отсутствуют верхнерифейские отложения, представляющие, на наш взгляд, наибольший интерес. Лахандинская скв. 1, пробуренная еще в середине 1950-х гг. на южной периклинали впадины, имеет небольшую глубину (немногом более 500 м). Здесь также отсутствуют породы верхнего рифея и более молодые образования.

В ходе многолетних тематических исследований сложились представления о нефтегазоматеринских отложениях региона [1, 5–9, 18 и др.]. Следует еще раз отметить, что эти представления основаны на изучении разрезов на юге впадины в естественных обнажениях. Некоторая геохимическая информация, включающая сведения о концентрациях РОВ пород, появилась по разрезу рифейских отложений Мокуйской скв. 1 на западном склоне впадины.

Согласно принятым представлениям в разрезе Алдано-Майской впадины выделялись следующие основные НГМТ.

1. Верхняя подсвита *малгинской свиты керпильской серии* среднего рифея.
2. Толща битуминозных известняков верхней части *нерюенской свиты (игниканская свита) лахандинской серии* верхнего рифея.

3. Прослои аргиллитов и алевролитов, относительно обогащенных рассеянным органическим веществом (РОВ), в составе *средней части нерюенской свиты лахандинской серии* верхнего рифея.

4. Прослои алевролитов аргиллитов и глинистых алевролитов в составе *кандыкской и усть-кирбинской свит уйской серии* – верхнего подразделения рифейской системы.

5. Нижне-среднекембрийские *доманикоидные отложения униканской свиты* – аналоги известной куонамской свиты на северо-востоке Сибирской платформы.

Далее можно рассмотреть эти толщи с позиций их возможностей для обеспечения скоплений УВ в пределах Алдано-Майской впадины.

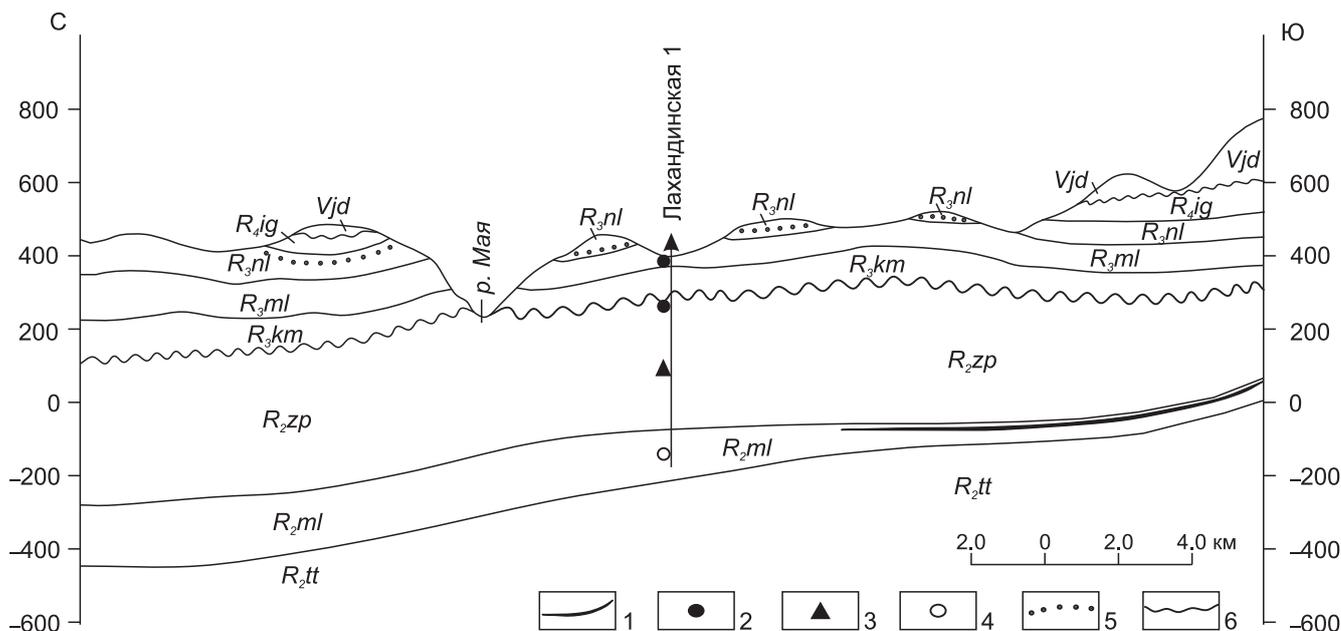
Традиционно наибольшим вниманием специалистов в этом списке пользуются доманикоидные отложения верхней части малгинской свиты. Судя по последним публикациям, она до настоящего времени рассматривается в качестве основной НГМТ в регионе [1, 11, 14]. Необходимо более подробно рассмотреть параметры верхнемалгинских отложений и их позицию в регионе. В доманикоидных фациях верхняя часть малгинской свиты установлена в среднем течении р. Мая. Здесь, на южной периклинали впадины, эти породы изучены в естественных разрезах. Согласно имеющимся материалам толщина доманикоидной пачки варьирует, достигая 14 м в районе стратотипического обнажения (скала Малгина). Здесь непосредственно под перекрывающими доломитами ципандинской свиты выделяется горизонт темно-коричневых битуминозных известняков с прослоями сапропелевых мергелей и аргиллитов. В глинистых разностях содержания  $C_{орг}$  составляют 3,78–14,0 % (в среднем 7,6 %) на породу, в известняках – 0,07–1,24 % [18]. По имеющимся данным максимальная концентрация РОВ достигает 26 % на породу [6]. Уровень катагенетической преобразованности РОВ отвечает термодинамическим условиям проявления главной зоны нефтеобразования (ГЗН). Пиролитические характеристики РОВ подтверждают высокий потенциал и уровень катагенеза (значение показателя  $HI$  составляет 383–556 мг УВ / г  $C_{орг}$ , параметра  $T_{max}$  – 436–445 °С). ОВ пород верхней части малгинской свиты заметно обогащено легким изотопом углерода ( $\delta C^{13} = -30,5...-34,7 ‰$ ). Весьма интересные данные получены специалистами ВНИГНИ и ИНГГ СО РАН по составу реликтовых УВ-биомаркеров в битумоидах этих отложений, отличающих их от доманикоидов кембрия [11, 14].

Вместе с тем имеющиеся геологические материалы дают основание считать, что значение пород верхней подсвиты малгинской свиты в регионе явно завышено. Доманикоидные отложения, выделяемые в верхней части свиты, имеются только на южном борту Алдано-Майской впадины, по существу, в зоне ее выхода на поверхность. По материалам геологической съемки даже в бассейне среднего течения р. Мая состав верхнего битуминозного

горизонта малгинской свиты очень изменчив. Толщина собственно битуминозной пачки в различных разрезах изменяется от 1 до 20 м [4]. К северу, по мере погружения к центральной части впадины, доманикоиды быстро замещаются известняками с низкими содержаниями РОВ. Доманикоидные отложения отсутствуют уже в Лакандинской скв. 1, нет их и в разрезе Мокуйской скв. 1. По нашим данным, в северной части впадины в бассейне р. Ханда малгинская свита представлена только пестроцветными глинистыми известняками с незначительными содержаниями РОВ ( $C_{орг}$  0,02–0,03 % на породу). Таким образом, область распространения доманикоидных пород – только краевая южная часть впадины, где они находятся в зоне размыва и гипергенных изменений. По этой причине вряд ли можно связывать перспективы нефтегазоносности Алдано-Майской впадины с потенциалом малгинской свиты.

Уже отмечалось, что на южной периклинали впадины РОВ малгинской свиты достигало градации катагенеза  $MK_2$  (аббревиатура по Н. Б. Вассовичу). Это действительно свидетельствует о процессах нефтеобразования, но продукты данных процессов в настоящее время могут представлять собой только приповерхностные и поверхностные проявления различных битумов (мальты, асфальты). Вряд ли была возможна нисходящая миграция УВ со стороны малгинской свиты в северном направлении к центральной части впадины, где имеются более благоприятные условия для сохранности скоплений УВ. Положение малгинской свиты относительно крупной зоны битумопроявлений на южном окончании Алдано-Майской впадины проиллюстрировано на рис. 2. В рассматриваемом районе установлены наиболее значительные поверхностные скопления нафтидов [22]. Так, в долинах рр. Лаканда, Элгээйи, Кандахар (правые притоки р. Мая), Кюбю-Идэ (левый приток р. Мая) наблюдаются пласты закированных песчаников в нельканской свите (средняя часть нерюенской свиты лахандинской серии).

Мощность таких пластов 6–10 м, протяженность от сотен метров до 10 км. Закированные песчаники черные, с блестящей поверхностью, при ударе издают резкий запах бензина. Содержания хлороформенного битумоида в них до 3 %. В составе битумоида содержится 84,82–86,2 % углерода, 10,81–14,4 % водорода, 2,0–3,3 % гетероэлементов [8]. Кроме того, в среднем течении р. Мая также отмечается вероятный коллекторский горизонт песчаников (мощность 5–12 м) в основании кандыкской свиты уйской серии верхнего рифея, который прослеживается в верховьях рр. Лаканда, Кандахар, Мал. Кандык. Помимо него в основании кандыкской свиты в приустьевых частях рр. Бол. Кандык и Кыра-Курадатыыр встречаются линзы (0,3–0,4 м) среднезернистых кварцевых закированных песчаников, иногда их мощность достигает 2 м, протяженность 1–2 км. По мнению авторов, закированные песчаники представляют собой разрушенные залежи нефти



**Рис. 2.** Геологический разрез, южный склон Алдано-Майской впадины (по [7, 22])

1 – прослои доманикоидных пород; 2–4 – нафтидопроявления: 2 – твердый битум, 3 – вязкий битум, 4 – капельно-жидкая нефть; 5 – закированные песчаники; 6 – стратиграфический перерыв

[22]. В целом скопления нафтидов в песчаных горизонтах нерюенской и кандыкской свит верхнего рифея встречаются в бассейне среднего течения р. Мая на протяжении около 35 км. Вероятно, здесь существовала палеозона литологических залежей, фрагменты которых сохранились в современном эрозионном срезе. Не исключено также, что пласты закированных песчаников являются следами бывшего единого крупного нефтяного месторождения. Но в любом случае трудно предполагать миграцию нафтидов от малгинской свиты в направлении пластов песчаников нельканской и кандыкской свит. Вероятно, источник нафтидов иной. К сожалению, нафтиды из песчаных горизонтов лахандинской и уйской серий до настоящего времени не изучены современными геохимическими методами, способствующими генетическим корреляциям РОВ материнской породы – нафтида.

Сомнения в нефтегазоматеринских способностях вызывают также битуминозные известняки игниканской свиты. Они рассмотрены в качестве нефтегазоматеринских пород в работе [1]. Однако геохимические параметры этих отложений, как отмечали авторы, неизвестны и приняты ими весьма условно, вероятно, на основании визуального описания в работе стратиграфического плана [16]. В реальности имеющиеся аналитические данные свидетельствуют о крайне низких содержаниях в них РОВ. По сути, это массивные строматолитовые разности пород, которые формировались в неблагоприятных для накопления РОВ условиях. Так, в Усть-Майской скв. 366, пробуренной в последние годы в центральной части впадины, игниканская свита сложена красноцветными строматолитовыми известняками, в основной массе которых доля

$C_{орг}$  составляет всего 0,010 %. В разрезах Мокуйской скв. 1 (бассейн рр. Ханда и Мая) в породах этой свиты концентрации  $C_{орг}$  также только сотые доли процента. Вероятно, встречающаяся в отдельных разрезах карбонатов игниканской свиты битуминозность обусловлена примесью миграционных битумов, что вообще характерно для разреза краевых частей Алдано-Майской впадины.

В составе терригенных отложений лахандинской и уйской серий верхнего рифея встречаются глинистые разности, относительно обогащенные РОВ. Согласно аналитическим данным в составе верхнерифейских терригенных отложений отмечаются пласты темноцветных аргиллитов, глинистых алевролитов с относительно повышенным содержанием РОВ. В таких пластах доля  $C_{орг}$  достигает 0,20–0,50 %, изредка встречаются прослои с содержаниями до 1,0 %. Такие отложения можно отнести к возможным нефтегазоматеринским породам с низким потенциалом. Вероятно, в них исходные концентрации РОВ соответствуют кларковым значениям для современных глин. Подобные прослои установлены в краевых частях Алдано-Майской впадины. Они характеризуются плохой выдержанностью по площади, слабой обнаженностью, что затрудняет прослеживание по территории. Вместе с тем для рифейских отложений Сибирской платформы хорошо выражена тенденция увеличения концентраций РОВ по направлению от краевых частей к депоцентрам палеобассейнов, установленная в ходе многолетнего построения региональных геохимических карт. Прогнозируется она и для территории Алдано-Майской впадины, что подтверждено результатами бурения Усть-Майской параметрической скв. 366.



Исследования последних лет дают нам основания для корректировки существующих представлений о НГМТ региона. При этом использовались данные по Усть-Майской параметрической скв. 366, которая была пробурена в центральной части впадины более чем через 20 лет после завершения советского этапа ГРП. Кроме того, были учтены материалы, полученные также в прошлом столетии, но оставшиеся без внимания исследователей.

В разрезе указанной скважины значительный интерес представляет терригенно-карбонатная толща в верхней части нерюенской свиты лахандинской серии, залегающая ниже строматолитовых известняков игниканской свиты. В ее составе присутствуют пачки черных аргиллитов мощностью 30–45 м с многочисленными включениями пирита. Доля  $C_{орг}$  в аргиллитах составляет 0,30–1,66 %. Геохимические параметры этих пород были впервые приведены в работе [12]. Пачки хорошо выделяются в разрезе по повышенной радиоактивности и суммарным газопоказаниям. Авторами они оцениваются как лучшие нефтегазоматеринские породы в составе лахандинской серии центральной части впадины.

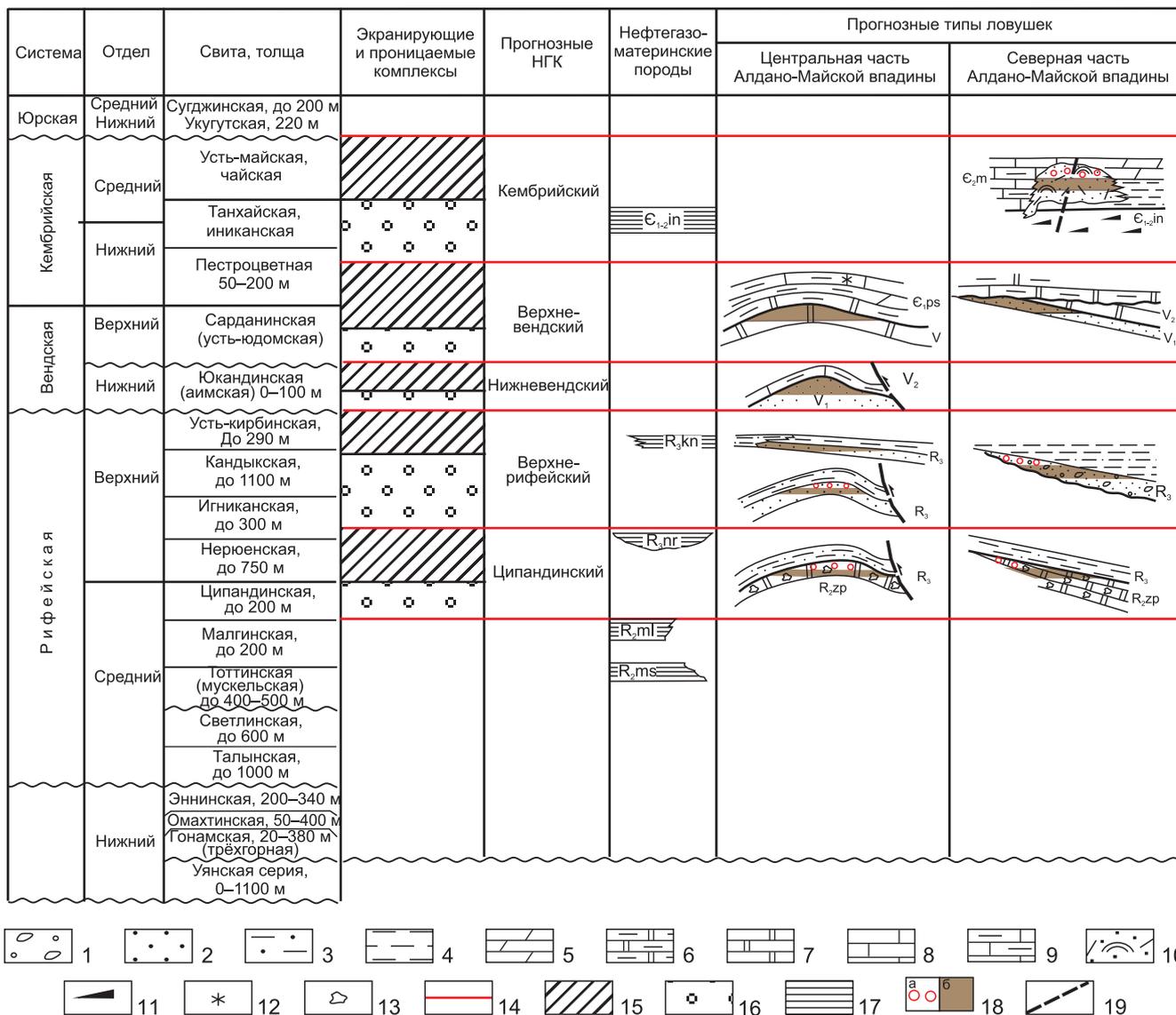
В северной части Алдано-Майской впадины имеется еще одна интересная толща, которая до настоящего времени не попадала в поле зрения геохимиков. Это верхняя подсвита мускельской свиты среднего рифея (стратиграфический аналог тоттинской свиты южной части впадины), подстилающая пестроцветные известняки малгинской свиты. По данным геологической съемки толща сложена темно-серыми до черных аргиллитами, алевролитами общей мощностью 200 м [3]. По небольшому количеству определений остаточные концентрации  $C_{орг}$  в аргиллитах достигают 0,80 %. Судя по пиролитическим данным, РОВ пород подвергалось интенсивному катагенезу, связанному с влиянием шарьяжных дислокаций [12]. Вероятно, что исходный потенциал таких пород был близок к потенциалу доманикоидов. Надо отметить, что очень слабая изученность этих отложений связана с плохой их обнаженностью и с общей слабой изученностью региона, особенно северной его части. Тем не менее первые немногочисленные данные дают основание считать, что верхняя часть мускельской свиты могла быть нефтегазоматеринской толщей.

Необходимо также отметить породы иниканской свиты кембрийского возраста – вероятной НГМТ верхней части осадочного чехла Алдано-Майской впадины. Исходный потенциал этих древних доманикоидов сомнений не вызывает. Вместе с тем очевидно, что в большей части впадины условия сохранности скоплений УВ, генерированных РОВ иниканской свиты, неблагоприятны, за исключением северной части впадины и, вероятно, прилегающих районов восточной части Предверхоанского прогиба, где существенно возрастает мощность перекрывающих иниканскую свиты отложений за счет

наращивания разреза средне-верхнекембрийских пород. В направлении Предверхоанского прогиба в составе осадочного чехла появляются триасовые и пермские образования. Судя по результатам сейсморазведочных работ на прилегающей территории Усть-Амгинской площади, глубины погружения иниканской свиты возрастают до 2–4 км. В этих условиях процессы нефтегазообразования в доманикоидах должны получить необходимое развитие.

С учетом приведенных данных составлена схема распространения основных НГМТ при нефтегазогеологическом расчленении осадочного чехла различных частей Алдано-Майской впадины (рис. 3). Показаны также прогнозные типы ловушек для возможных нефтегазоносных комплексов различного состава и возраста. В северной части впадины наиболее вероятно присутствие скоплений УВ в зонах выклинивания потенциальных коллекторских горизонтов песчаных пластов верхнего рифея, венда и в карбонатных породах верхней части ципандинской свиты среднего рифея. Перспективность северной части впадины повышается за счет вероятного развития НГМП в верхней части мускельской свиты среднего рифея. Кроме того, сохраняется возможность существования массивов органогенно-обломочных образований среднекембрийского возраста, подстилаемых доманикоидными отложениями иниканской свиты [2, 20]. Можно также добавить, что в северной части впадины не исключается нефтеносность собственно иниканской свиты как нетрадиционного сланцевого коллектора [19].

С учетом особенностей строения центральной части впадины наиболее интересными объектами представляются антиклинальные структуры, сформированные под активным воздействием шарьяжно-надвиговых дислокаций Нелькано-Кыллахской зоны. С ними могут быть связаны антиклинальные залежи, осложненные дизъюнктивами. Перспективные уровни также могут быть связаны с возможными коллекторами – песчаными пластами венда и верхнего рифея, карбонатами ципандинской свиты среднего рифея. Кроме благоприятного структурного плана, наличия НГМП среднего – верхнего рифея, можно предполагать динамическое воздействие надвиговых дислокаций, способствующих перемещению флюидов со стороны фронта надвигов. Известно, что многие исследователи считают, что условия сохранности залежей УВ на территории впадины неблагоприятны из-за отсутствия хороших флюидоупоров и длительного перерыва в осадконакоплении. В связи с этим положительным признаком можно считать сравнительно молодой (меловой) возраст дислокаций и, соответственно, миграции УВ, что улучшает условия сохранности их скоплений. Есть даже мнение о том, что процессы миграции и аккумуляции УВ на востоке Алданской антеклизы происходят до настоящего времени [17].



**Рис. 3.** Схема нефтегазогеологического расчленения осадочного чехла и углеводородные системы Алдано-Майской впадины

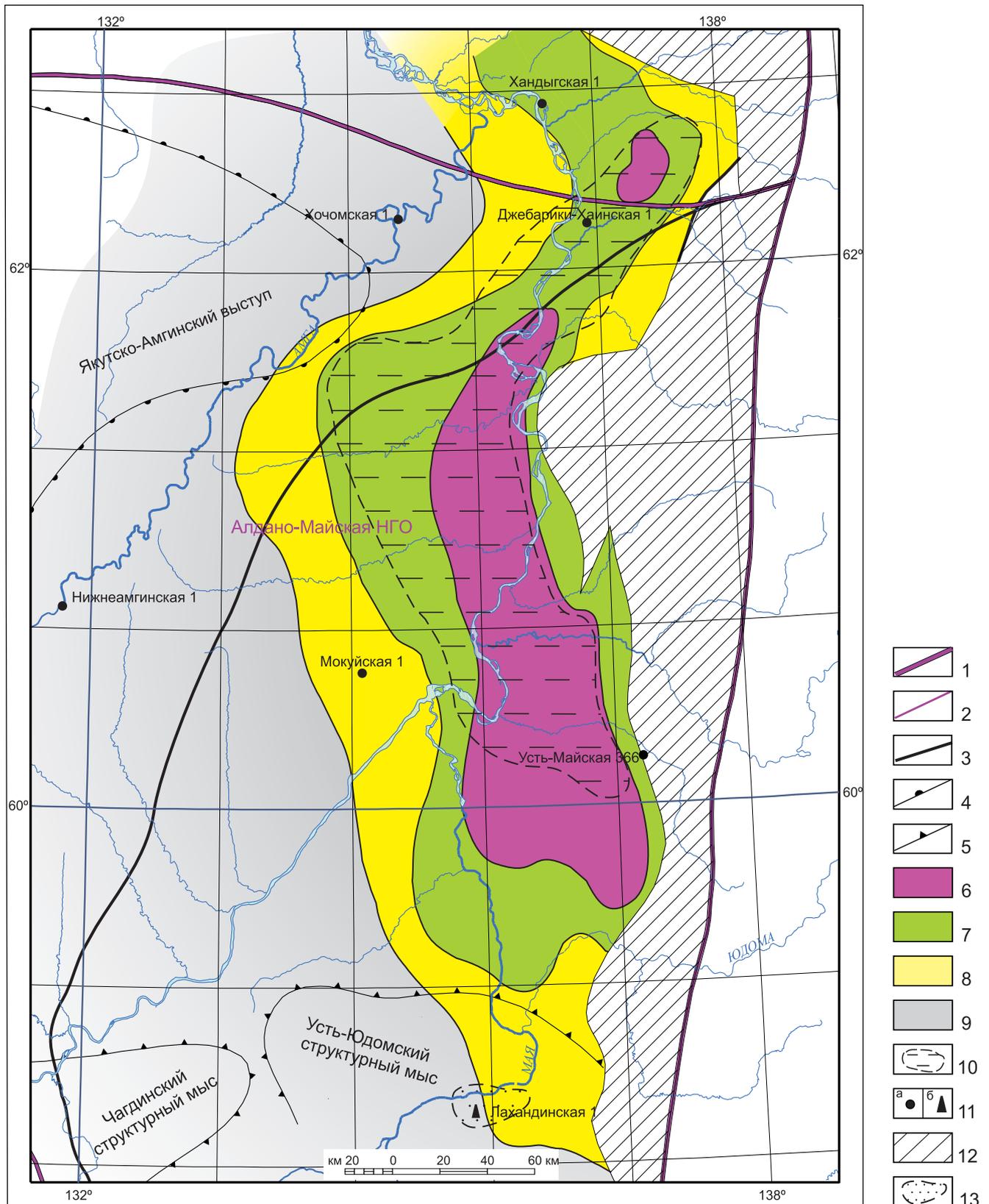
1 – конгломераты, гравелиты; 2 – песчаники; 3 – алевролиты; 4 – аргиллиты; 5 – кальцитовые мергели; 6 – глинистые доломиты; 7 – доломиты; 8 – доломиты, известняки водорослевые; 9 – известняки глинистые; 10 – органогенно-обломочные мелководные отложения; 11 – доманикоидные отложения; 12 – пестроцветность; 13 – кавернозность; 14 – границы перспективных комплексов; 15 – экранирующая толща; 16 – проницаемая толща; 17 – нефтегазоматеринские породы; 18 – залежи: а – газа, б – нефти; 19 – тектонические нарушения

Подобные объекты, связанные с шарьяжно-надвиговыми дислокациями, рассматривались ранее. Наиболее интересным представляется Мутулинское поднятие, прогнозируемое в приустьевой части р. Ханда [10]. Для центральной части впадины также сохраняются перспективы формирования литологических залежей на участках выклинивания песчаных пластов верхнерифейского возраста (кандыкская, нерюенская свиты).

Приведенные данные о распространении НГМТ и нефтегазогеологическое расчленение осадочного разреза дают основание для построения прогнозной схематической карты перспектив нефтегазоносности территории Алдано-Майской впадины (рис. 4). Согласно построениям выделены три категории перспективных земель: высоко-

перспективные, перспективные и малоперспективные.

Высокоперспективные земли прогнозируются в центральной части впадины, характеризующейся наибольшей полнотой и мощностью осадочного разреза, особенно рифейских пород. Здесь вероятен максимальный диапазон перспективных отложений и наибольшее разнообразие типов ловушек УВ. В центральной части впадины не исключена нефтегазоносность и черносланцевых образований иниканской свиты. В направлении периферии впадины перспективы снижаются за счет сокращения толщин осадочного чехла, ухудшения условий сохранности скоплений углеводородов, особенно в верхней части разреза. В пограничной восточной части впадины сохранность залежей УВ также маловероятна в силу



**Рис. 4.** Карта прогноза нефтегазоносности Алдано-Майской впадины и прилегающих территорий по геолого-геохимическим данным

1–5 – границы: 1 – Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, 2 – нефтегазоносных областей, 3 – Алдано-Майской впадины, 4 – тектонических структур I порядка, 5 – тектонических структур II порядка; 6–10 – категории земель различной перспективности: 6 – высокоперспективные, 7 – перспективные, 8 – малоперспективные, 9 – бесперспективные, 10 – территории с возможной нефтеносностью черносланцевых отложений инниканской свиты нижнего – среднего кембрия; 11 – скважины: а – глубокие, б – колонковые; 12 – зоны развития Нелькано-Кыллахской системы надвигов; 13 – зона проявления закированных песчаников нерюенской и кандыкской свит верхнего рифея



интенсивных дислокаций и резкого повышения катагенеза ОВ НГМТ (до градаций МК<sub>5</sub> и АК). Юго-западная часть впадины малоперспективна. Здесь постепенно выклиниваются рифейские отложения, более молодые образования венда и кембрия находятся в условиях гипергенеза. По существу, возможно присутствие только битумов гипергенного ряда (мальты, асфальты, асфальтиты), что подтверждается имеющимися редкими данными глубокого бурения и бурения гидрогеологических скважин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баженова Т. К., Маргулис Л. С.** Нефтегазообразование в Алдано-Майском бассейне Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/1/44\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/44_2014.pdf).

2. **Берилко Г. А., Шишкин Б. Б., Страхов А. Н.** О перспективах нефтегазоносности среднекембрийских отложений в бассейне р. Амга (восточная часть Алданской антеклизы) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 3(11). – С. 38–43.

3. **Государственная** геологическая карта СССР масштаба 1: 200 000. Серия Майская. Лист О-53-ХV: объяснительная записка / сост. Н. С. Шпак, А. С. Сурикова. – М., 1977. – 100 с.

4. **Государственная** геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Майская. Лист Р-53-XXIII: объяснительная записка / под ред. В. А. Ян-Жин-Шина. – М., 1990. – 70 с.

5. **Давыдов Ю. В.** Рифейские карбонатные отложения юго-востока Сибирской платформы и ее обрамления. – Новосибирск: Наука, 1975. – 108 с.

6. **Древнейшая** формация доманикового типа на востоке Сибирской платформы / Я. А. Галушко, С. В. Потапов, Б. С. Неволин и др. // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1975. – С. 63–73.

7. **Илюхин Л. Н.** Литология и коллекторские свойства верхнепротерозойских отложений юго-восточной части Сибирской платформы: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – М.: МГУ, 1970. – 21 с.

8. **Литология** и нефтегазоносность юго-востока Сибирской платформы (верхний докембрий) / Б. В. Корнев, В. Т. Работнов, В. Т. Гудзенко и др. – М.: Наука, 1980. – 131 с.

9. **Ломтев В. А.** Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Алдано-Майского нефтегазоносного бассейна: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Иркутск, 1974. – 19 с.

10. **Мигульский А. В., Соболев П. Н.** Мутулинское поднятие – главный объект нефтегазопроисхождения работ во фронтальной части Кыллахской зоны Верхоянского пояса складчато-надвиговых дислокаций // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 2. – С. 26–33.

11. **Нефтематеринские** формации, нефти и газы докембрия и нижнего–среднего кембрия Си-

бирской платформы / Т. К. Баженова, М. В. Дахнова, Т. П. Жеглова и др. – М.: ВНИГНИ, 2014. – 128 с.

12. **Новые** данные о перспективах нефтегазоносности Алдано-Майской впадины / П. Н. Соболев, О. В. Шиганова, С. В. Дыхан, А. Р. Ахмедова // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 643–656.

13. **Нужнов С. В.** Рифейские отложения юго-востока Сибирской платформы. – М.: Наука, 1967. – 159 с.

14. **Органическая** геохимия пород малгинской свиты мезопротерозоя и обстановки их формирования (юго-восток Сибирской платформы) / Е. А. Сулова, Т. М. Парфенова, С. В. Сараев, К. Е. Наговицин // Геология и геофизика. – 2017. – № 3–4. – С. 628–642.

15. **Основные** этапы геологического развития и перспективы нефтегазоносности Якутской АССР / Д. К. Горнштейн, А. А. Гудков, А. И. Косолапов и др. – М.: Изд-во АН СССР, 1973. – 240 с.

16. **Семихатов М. А., Серебряков С. Н.** Сибирский гипостратотип рифея. – М.: Наука, 1983. – 223 с.

17. **Ситников В. С., Жерновский В. П.** О вероятном наличии потенциальных зон нефтегазоаккумуляции на востоке Алданской антеклизы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2011. – № 3(7). – С. 11–18.

18. **Соболев П. Н.** Геохимия доманикитной малгинской свиты Юдомо-Майской впадины // Геология угленосных и горючесланцевых формаций Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1987. – С. 69–76.

19. **Соболев П. Н.** О перспективах добычи сланцевой нефти в куонамской битуминозной формации в Восточной Сибири // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2020. – № 4(44). – С. 14–19.

20. **Старосельцев В. С., Рудницкая Д. И., Сальников А. С.** Перспективы нефтегазоносности кембрийских отложений в северо-восточной части Предсетедабанского прогиба // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 3(11). – С. 44–50.

21. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н. В. Мельников, М. С. Якшин, Б. Б. Шишкин и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2005. – 428 с.

22. **Стратиграфия** осадочного чехла восточных склонов Алданского щита в связи с нефтегазоносностью / А. Л. Ставцев, С. В. Потапов, Б. С. Неволин и др. // Советская геология. – 1976. – № 3. – С. 23–33.

## REFERENCES

1. Bazhenova T.K., Margulis L.S. [Oil and gas formation in the Aldan-Maya Basin (Eastern Siberia)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 1–8. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/1/44\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/44_2014.pdf)

2. Berilko G.A., Shishkin B.B., Strakhov A.N. [About petroleum potential prospects of Middle Cambrian se-



diments in the Amga River basin (Eastern Aldan antecline)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2012, no. 3 (11), pp. 38–43. (In Russ.).

3. Shpak N.S., Surikova A.S. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Mayskaya. List O-53-XV. Obyasnitelnaya zapiska* [State Geological Map of the USSR on a scale of 1:200,000. Series Mayskaya, sheet-O-53-15. Explanatory note]. Moscow, 1977. 100 p. (In Russ.).

4. Yan-Zhin-Shin, ed. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Mayskaya. List P-53-XXIII. Obyasnitelnaya zapiska* [State Geological Map of the USSR on a scale of 1:200,000. Series Mayskaya, sheet-P-53-23. Explanatory note]. Moscow, 1990. 70 p. (In Russ.).

5. Davydov Yu.V. *Rifeyskiye karbonatnyye otlozheniya yugo-vostoka Sibirskoy platformy i ee obramleniya* [Riphean carbonate deposits of the south-east of the Siberian Platform and its framing]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1975. 108 p. (In Russ.).

6. Galushko Ya.A., Potapov S.V., Nevolin B.S., et al. [The most ancient Domanic-type formation in the east of the Siberian Platform]. *Geologiya i neftegazonosnost Vostochnoy Sibiri i Dalnego Vostoka* [Geology and petroleum potential of East Siberia and the Far East]. Moscow, Nauka Publ., 1975, pp. 63–73. (In Russ.).

7. Ilyukhin L.N. *Litologiya i kollektorskiye svoystva verkhneproterozoykskikh otlozheniy yugo-vostochnoy chasti Sibirskoy platformy. Avtoref. kand. dis.* [Lithology and reservoir properties of Upper Proterozoic deposits in the south-east of the Siberian Platform. Author's abstract of PhD thesis]. Moscow, MSU Publ., 1970. 21 p. (In Russ.).

8. Kornev B.V., Rabotnov V.T., Gudzenko V., et al. *Litologiya i neftegazonosnost yugo-vostoka Sibirskoy platformy (verkhniy dokembriy)* [Lithology and petroleum potential of the south-eastern Siberian Platform]. Moscow, 1980. 131 p. (In Russ.).

9. Lomtev V.A. *Geologicheskoye stroeniye i perspektivy neftegazonosnosti Aldano-Mayskogo neftegazonosnogo basseyna. Avtoref. kand. dis.* [Geological structure and petroleum potential of the Aldan-Maya petroleum basin. Author's abstract of PhD thesis]. Irkutsk, 1974. 19 p. (In Russ.).

10. Migurskiy A.V., Sobolev P.N. [Mutula high as a principal target of petroleum exploration in the frontal part of the Kyllakh zone of the Upper Yana fold and thrust belt]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2015, no. 2, pp. 26–33. (In Russ.).

11. Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Zheglova T.P., et al. *Neftematerinskiye formatsii, nefti i gazy dokembriya i nizhnego – srednego kembriya Sibirskoy platformy* [Oil-and-gas source formations, oils and gases of the Precambrian and Lower–Middle Cambrian of the Siberian Platform]. Moscow, VNIGNI Publ., 2014. 128 p. (In Russ.).

12. Sobolev P.N., Shiganova O.V., Dykhan S.V., Akhmedova A.R. [New data on the petroleum potential of the Aldan-Maya depression]. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 3–4, pp. 529–540.

13. Nuzhnov S.V. *Rifeyskiye onlozheniya yugovostoka Sibirskoy platformy* [Riphean deposits of the south-east of the Siberian Platform]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 159 p. (In Russ.).

14. Suslova E.A., Parfenova T.M., Saraev S.V., Nagovitsyn K.E. [Organic geochemistry of rocks of the Mesoproterozoic Malga Formation and their depositional environments (southeastern Siberian Platform)]. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 3–4, pp. 516–528. (In Russ.).

15. Gornshteyn D.K., Gudkov A.A., Kosolapov A.I., et al. *Osnovnyye etapy geologicheskogo razvitiya i perspektivy neftegazonosnosti Yakutskoy ASSR* [The main stages of geological development and petroleum potential of the Yakut ASSR]. Moscow, AS USSR Publ., 1973. 240 p. (In Russ.).

16. Semikhatov M.A., Serebryakov S.N. *Sibirskiy gipostatotip rifeya* [Siberian hipostratotype of the Riphean]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 223 p. (In Russ.).

17. Sitnikov V.S., Zhernovskiy V.P. [On the possible occurrence of oil-and-gas accumulation potential zones in the eastern Aldan antecline]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2011, no. 3 (7), pp. 11–18. (In Russ.).

18. Sobolev P.N. [Geochemistry of the Domanic Malga Formation of the Yudoma-Maya depression]. *Geologiya uglenosnykh i goryuchslantsevykh formatsiy Sibiri* [Geology of coal-bearing and kerogenic formations of Siberia]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 1987, pp. 69–76. (In Russ.).

19. Sobolev P.N. [On prospects for recovering of shale oil in the Kuonamka bitunibous formation in Eastern Siberia]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2020, no. 4, pp. 14–19. (In Russ.).

20. Staroseltsev V.S., Rudnitskaya D.I., Sannikov A.S. [Petroleum potential of Cambrian deposits in north-eastern Pre-Sette-Daban trough]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2012, no. 3, pp. 44–50. (In Russ.).

21. Melnikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B., et al. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya* [Stratigraphy of Siberian petroleum basins. The Riphean and Vendian of the Siberian Platform and its folded margins]. Novosibirsk, Geo Publ., 2005. 428 p. (In Russ.).

22. Stavtsev A.L., Potapov S.V., Nevolin B.S., et al. [Stratigraphy of sedimentary cover of eastern slopes of the Aldan shield in connection with petroleum potential]. *Sovetskaya geologiya*, 1976, no. 3, pp. 23–33. (In Russ.).



## ПРОГНОЗ СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ СЕВЕРНОГО СКЛОНА АЛДАНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ И ГРАВИМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Е. Н. Махнач, А. В. Мамаева

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Перспективы обнаружения твердых полезных ископаемых в пределах северного склона Якутского поднятия Сибирской платформы остаются до конца невыясненными. Однако в свете новых данных и переоценки старых материалов этот район представляет интерес на обнаружение редкоземельного оруденения в апатитах. Выделенная Толонская аномалия, связанная с массивом щелочных пород, может рассматриваться как перспективный для промышленного освоения объект в рамках реализации проекта «Комплексное развитие Южной Якутии».

**Ключевые слова:** Толонский массив, гравитационное и магнитное поля, геоэлектрический разрез, зоны повышенной проводимости, рудоносная структура.

## THE FORECAST OF HIDDEN ORE MINERALIZATION WITHIN THE NORTHERN SLOPE OF THE ALDAN ANTECLISE ACCORDING TO THE DATA OF ELECTRIC EXPLORATION AND GRAVIMAGNETIC FIELDS

E. N. Makhnach, A. V. Mamaeva

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

Prospects for the discovery of solid minerals within the northern slope of the Yakut uplift of the Siberian Platform remain unclear to the end. However, in the light of new data and reassessment of old materials, this district is of interest for the identification of rare-earth mineralization in apatites. The isolated Tolon anomaly associated with a massif of alkaline rocks can be considered as a prospective target for commercial development within the framework of “Integrated Development of South Yakutia” project.

**Keywords:** Tolon massif, gravity and magnetic fields, geoelectric sections, zones of increased conductivity, ore-bearing structure.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-39-44

Якутское поднятие – крупная положительная структура, представляющая собой выступ фундамента, перекрытый юрскими и, предположительно, кембрийскими отложениями. В 2019–2020 гг. в пределах северного склона поднятия на Нижнеалданской площади выполнены комплексные геофизические (сейсморазведка МОГТ-2D и электроразведка ЗСБ и МТЗ) и геохимические исследования с целью выяснения перспектив нефтегазоносности (рис. 1).

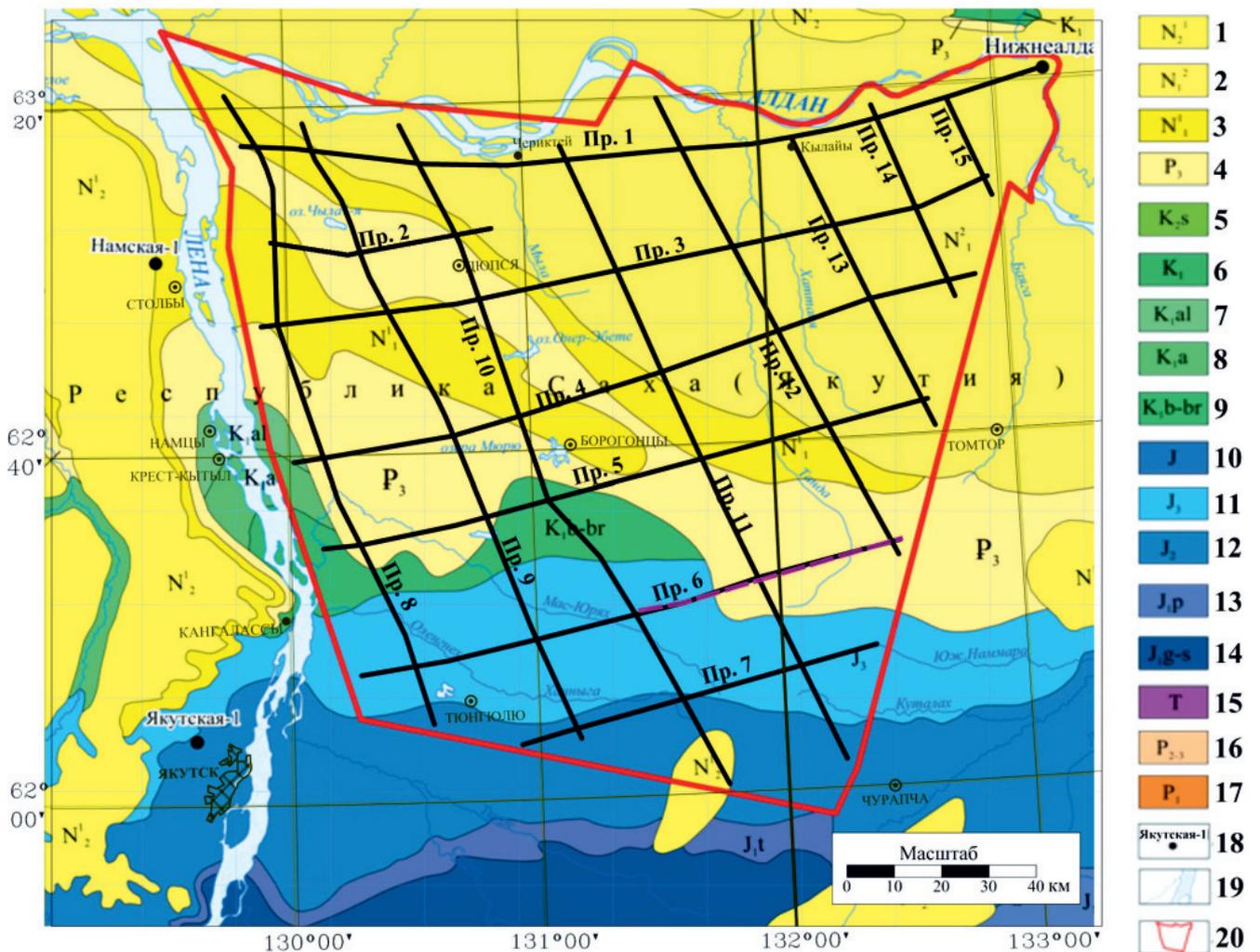
При проведении полевых работ ЗСБ в качестве регистрирующей аппаратуры использовались станции «ЦИКЛ-8» и «SGS-TEM». Шаг между пунктами наблюдений по профилю составлял 500 м, между центрами генераторных петель – 2,5 км. В качестве источника электромагнитного поля применялась незаземленная петля (диполь) размером 600×600 м.

Полевые измерения в точках МТЗ выполнены канадской аппаратурой фирмы «Phoenix Geophysics Ltd». Использовались измерительные модули MTU-V5 System 2000, позволяющие регистрировать пять компонент ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) магнитотеллурического поля и двухканальные модули MTU-2E, регистрирующие только электрические компоненты МТ-поля ( $E_x$ ,  $E_y$ ). Шаг наблюдений по профилю 1000 м. Длительность записи более 18 ч. Частотный диапазон измерений при регистрации МТЗ 200–0,001 Гц.

Обработка и интерпретация данных ЗСБ и МТЗ осуществлялась по стандартному графу в программном комплексе «EM-Data Processor» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018664058); построение сплайнов – в программе «MT-Corrector-5». Инверсия велась в одномерном варианте. В результате были получены геоэлектрические разрезы, характеризующие распределение электропроводности по латерали и глубине. По данным ЗСБ выполнялась дифференциация ВЧР, а по материалам МТЗ изучалось глубинное строение разреза.

При интерпретации результатов электроразведочных работ и анализе потенциальных полей попутно с решением основных нефтегазопоисковых задач была выделена Толонская комплексная аномалия и спрогнозирована ее связь с массивом нефелиновых сиенитов с редкоземельным оруденением (предположительно, ниобиевым).

Первыми предположение о том, что Толонская аномалия обусловлена массивом щелочных пород, высказали в 1981–1982 г. Ю. М. Зюзин и С. С. Окман, проводившие гравиметрическую съемку на Амгинской площади. Этому же мнению придерживались И. Н. Истомин, Л. И. Жукова и др. (1993) после аналогичных работ на Чурапчинской площади, про-



**Рис. 1.** Схема профилей на геологической карте (розовым цветом показан профиль моделирования потенциальных полей)

1 – плиоцен нижний; 2 – миоцен средний; 3 – миоцен нижний; 4 – олигоцен; 5 – меловая система, сеномарский ярус; мел: 6 – нижний отдел, 7 – альбский ярус, 8 – аптский ярус, 9 – берриасский и барремский ярусы; 10 – юра; юра: 11 – верхний отдел, 12 – средний отдел, 13 – плинсбахский ярус, 14 – геттангский и синемюрский ярусы; 15 – триас; пермь: 16 – средний – верхний отделы, 17 – нижний отдел; 18 – скважины; 19 – гидросети; 20 – площадь работ

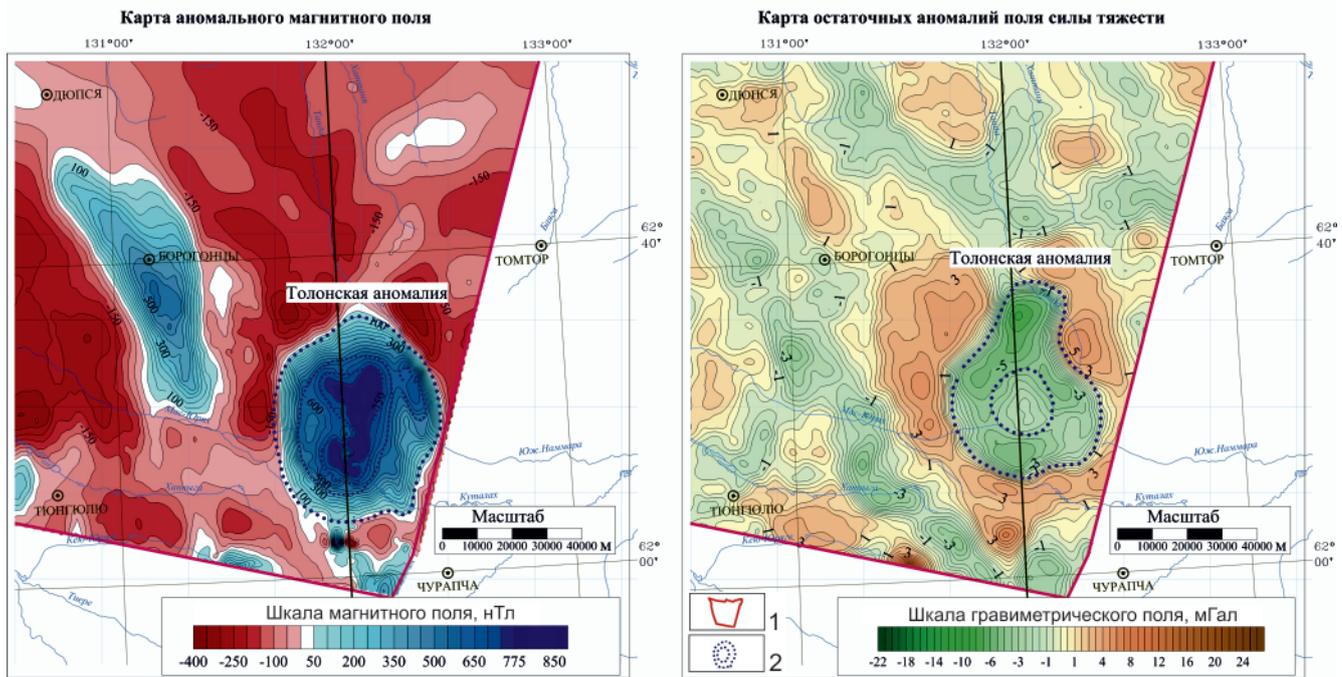
вода аналогию с Хибинским массивом апатитовых руд. Глубина до верхней кромки массива оценивалась в 4,5 км.

В настоящее время по материалам электро- и сейсморазведочных работ глубина верхней кромки определяется на уровне 450–680 м, что повышает значимость выделяемого геологического объекта.

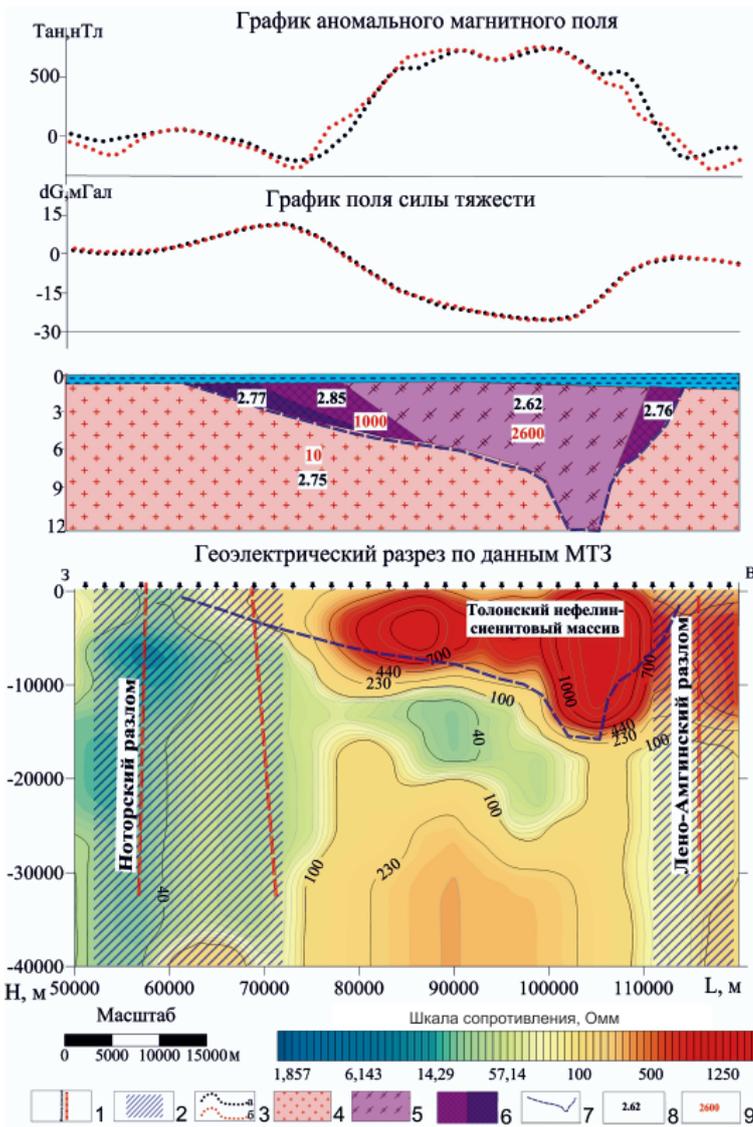
Толонский массив расположен к востоку от Якутска, в 20 км на север от пос. Чурапча. В рельефе он выражен поднятием округлой формы около 30 км в поперечнике. Интрузивный массив перекрыт мезозойскими и четвертичными отложениями. По данным аэромагнитной съемки массив представляет собой почти изометричное тело размером 30×35 км, пространственно совпадающее с его отображением в рельефе (рис. 2). В магнитном поле над массивом прослеживается концентрическая зональность, позволяющая выделить четыре субкольцевые зоны. Внешняя зона охватывает весь массив с интенсивностью магнитного поля 0–500 нТл. Внутри его располагается вторая зона, имеющая вид эл-

липса с осями длиной 15 и 25 км и интенсивностью магнитного поля 550–750 нТл. В центральной части оконтуриваются две кольцевые зоны размером 0,75×1,0 и 1,0×1,1 км, в пределах которых, в свою очередь, высокоамплитудные аномалии (750 нТл и более) отвечают небольшим телам, сгруппированным в кольцевую зону более мелкого порядка. Форма аномалий, интенсивность, отсутствие глубоких минимумов, окаймляющих их, свидетельствуют о морфологии образующих аномалии объектов, которые имеют вид вертикальных пластов, уходящих на большую глубину. Зонально-кольцевое отображение массива в аномалиях магнитного поля, вероятно, связано с несколькими фазами внедрения магмы и последующим неоднократным метасоматическим преобразованием пород.

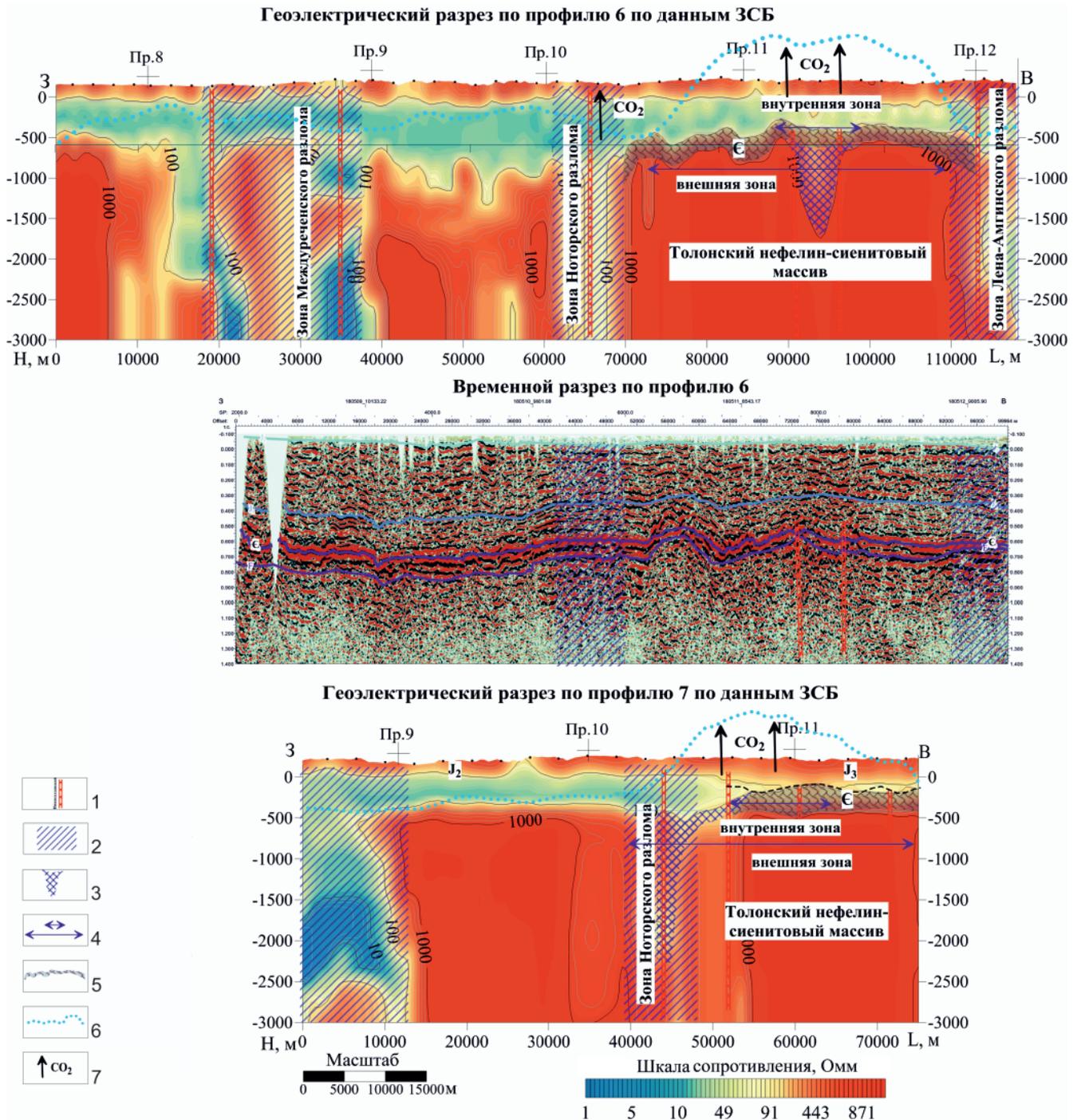
В поле силы тяжести массив выражен в виде отрицательной аномалии интенсивностью до –22 мГал, имеющей в плане форму овала, сплюснутого в северной части. Размер аномалии 30×45 км. Более детальные особенности строения анома-



**Рис. 2.** Отображение Толонского массива в потенциальных полях  
1 – площадь работ; 2 – концентрическая зональность в пределах Толонской аномалии по данным магнито- и гравиизведки



**Рис. 3.** Геолого-геофизический разрез через Толонский массив (фрагмент профиля б)  
1 – региональные разломы; 2 – зоны влияния разломов; 3 – графики: а – исходные, б – подобранные; 4 – породы фундамента, представленные гранитоидами; 5 – щелочные нефелиновые сиениты; 6 – меланократовые апатит-нефелиновые сиениты разной степени проработки; 7 – контур массива; 8 – плотность, г/см<sup>3</sup>; 9 – намагниченность,  $n \cdot 10^{-6}$  ед. СГС



**Рис. 4.** Геоэлектрические разрезы через Толонский массив

1 – региональные разломы; 2 – зоны влияния разломов; 3 – зоны проработки пород фундамента в зонах разломов по данным электроразведки; 4 – внешняя и внутренняя кольцевые зоны по данным магниторазведки; 5 – прогнозируемая кора выветривания в карбонатах кембрия; 6 – график аномального магнитного поля; 7 – миграция  $\text{CO}_2$

лии подчеркиваются в остаточных аномалиях поля (см. рис. 2). По гравитационному полю в строении массива прослеживается концентрическая зональность, заключающаяся в наличии внешнего контура и внутренней кольцевой зоны, где интенсивность поля несколько повышается относительно внешней зоны. Возможно, в остаточных аномалиях в большей степени отображается кровля массива, имеющего чашеобразную форму, что хорошо видно на упрощенном геолого-геофизическом разрезе по фрагменту профиля 6 (рис. 3).

Конфигурация массива по данным МТЗ и потенциальных полей имеет чашеобразный или лополитоподобный вид и зонально-концентрическое строение, центральная часть его, предположительно, сложена щелочными (нефелиновыми) сиенитами, периферийные части – меланократовыми нефелиновыми, апатит-нефелиновыми сиенитами. Учитывая, что реальные петрофизические параметры геологического объекта неизвестны, настоящий разрез следует считать одним из возможных его вариантов.

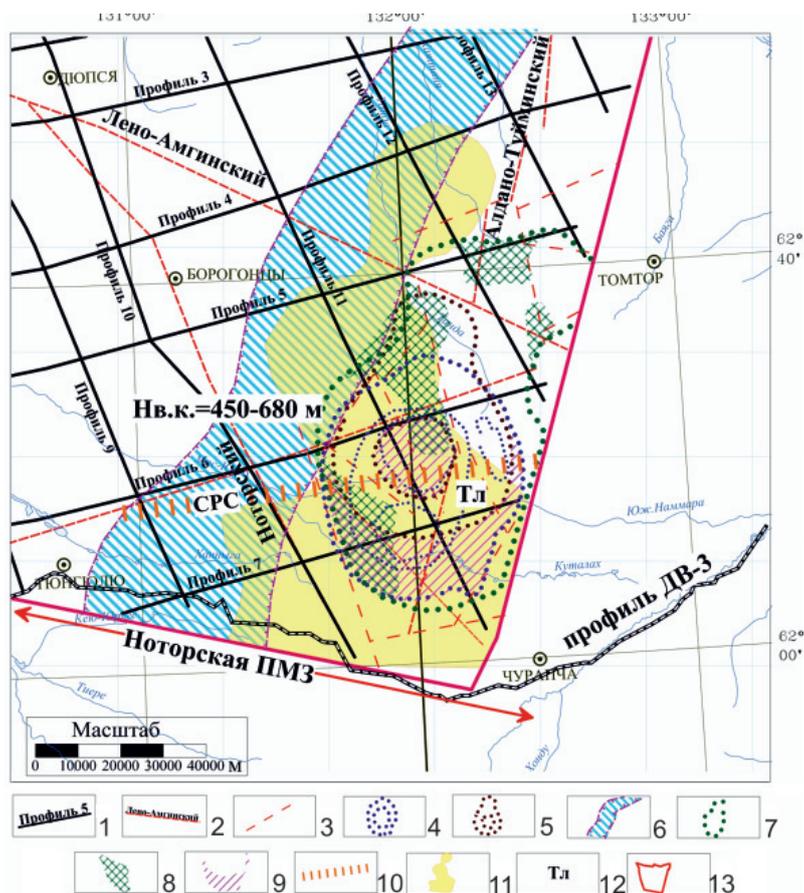


Рис. 5. Прогнозная схема оруденения Толонского массива

1 – профили электроразведочных работ ЗСБ и МТЗ, их номера; 2 – региональные разломы; 3 – разрывы фундамента, секущие осадочный чехол; концентрическая зональность по данным: 4 – магниторазведки, 5 – гравиразведки; 6 – зона повышенной проницаемости земной коры по данным МТЗ; 7 – контур массива по данным электроразведки ЗСБ; 8 – зоны проработки пород фундамента в зонах разломов по данным электроразведки; 9 – зона обогащения редкоземельными элементами; 10 – сквозная рудоконцентрирующая структура; 11 – аномальные концентрации CO<sub>2</sub>; 12 – Толонский массив; 13 – площадь работ

Присутствие на глубинах 10–30 км крупного очага повышенной проводимости и связывающих этот очаг с поверхностью проводящих каналов (по данным МТЗ) можно рассматривать как один из признаков наличия рудоносной структуры. На геоэлектрическом разрезе массив контролируется двумя восходящими зонами повышенной проводимости, образующими V-образную фигуру (см. рис. 3).

По данным ЗСБ массив в плане оконтуривается высокоомной аномалией размером (35–40)×65 км, вытянутой в северо-восточном направлении. Превышение размеров по данным электроразведки, возможно, обусловлено наличием апофиз от основного тела и большей глубиной их залегания. В разрезе он представлен высокоомным объектом с изрезанной верхней кромкой и неоднородным внутренним строением, что наблюдается и на сейсмическом разрезе. Объект рассечен зонами пониженного сопротивления, где интенсивность аномалий электрического поля понижается до 300–500 Ом·м на фоне 1500–1700 Ом·м. Проводящие зоны имеют заложение до глубины 1500 м, что хорошо видно на геоэлектрическом разрезе вдоль профиля 6 (рис. 4). С ними пространственно совмещены разломы, выделенные по данным сейсморазведки.

Перспективность выделенного объекта подтверждается материалами предшествующих работ.

По результатам интерпретации геолого-геофизических данных на профиле 3-ДВ (А. С. Сальников, В. С. Старосельцев, П. Н. Соболев, 2013) в пределах южной части площади работ выделена Ноторская

потенциально перспективная минерагеническая зона, вмещающая Толонский массив (рис. 5).

По данным И. Н. Истомина, В. М. Мишнина, массив располагается в пределах СРС (сквозной рудоконцентрирующей структуры) с концентрированным оруденением [1–3].

При геохимических исследованиях на Нижнеалданской площади П. Н. Соболев отмечал, что для ее юго-восточной части (район Толонского массива и севернее от него вдоль зоны Алдано-Туйминского разлома) характерны очень высокие содержания углекислого газа (см. рис. 5). Повышение концентрации газа в приповерхностной части разреза зависит от ряда факторов, одним из которых являются контактово-метасоматические реакции при внедрении интрузий в зонах региональных разломов и их воздействие на кембрийские карбонатные отложения. Методом полуколичественного спектрального анализа геохимических проб установлено, что в районе массива повышенных концентрациях присутствуют элементы литофильной группы (барий, стронций, хром, цирконий).

### Выводы

Проведенные исследования дают основание полагать, что Толонский массив заслуживает дальнейшего геологического изучения с целью поисков месторождений цветных и редких металлов, апатитов и высокоглиноземистого сырья. Месторождения этих высоколиквидных полезных ископаемых могут представлять интерес, поскольку вмещающий их ин-



трузивный массив расположен вблизи населенных пунктов и федеральной трассы «Якутск – Магадан» и характеризуется значительными размерами, что позволяет прогнозировать масштабность оруденения. В связи с этим необходимо детальное изучение Толонского массива для уточнения его размеров, глубины и конфигурации верхней кромки, определения рудной специализации.

Для изучения рекомендуется комплекс геофизических методов: высокоточная магниторазведка, гравиразведка, малоглубинная электроразведка методом ЗСБ м-ба 1:10 000, геохимические исследования и бурение скважин до глубины 500–700 м.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Истомин И. Н.** Прогноз рудоносных интрузий в чехле и фундаменте восточной части Сибирской платформы (по геолого-геофизическим данным): автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Якутск, 2005. – 26 с.

2. **Истомин И. Н., Мишнин В. М.** Перспективы поисков месторождений ниобия и редких земель в Центральной Якутии // Вестн. Госкомгеологии: материалы по геологии и полезным ископаемым Республики Саха (Якутия). – Якутск, 2003. – № 2 (5). – С. 64–76.

3. **Мишнин В. М., Истомин И. Н.** Новые промышленные типы высококонцентрированного оруденения в глубинных структурах Якутии (методика геолого-геофизического изучения и прогнозной

оценки) // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Республики Саха (Якутия) в современных условиях: матер. конф. – Якутск, 2003. – С.89–92.

#### REFERENCES

1. Istomin I.N. *Prognoz rudonosnykh intruziy v chekhle i fundamente vostochnoy chasti Sibirskoy platformy (po geologo-geofizicheskim dannym). Avtoref. kand. diss.* [Prediction of ore-bearing intrusions in the cover and basement of the eastern part of the Siberian Platform (according to geological and geophysical data). Author's abstract of PhD thesis]. Yakutsk, 2005. 26 p. (In Russ.).

2. Istomin I.N., Mishnin V.M. [Prospects for the prospecting of niobium and rare earths deposits in Central Yakutia]. *Vestnik Goskomgeologii: Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Respubliki Sakha (Yakutiya)*. Yakutsk, 2003, no.2 (5), pp. 64–76. (In Russ.).

3. Mishnin V.M., Istomin I.N. [New commercial types of highly concentrated mineralization in deep structures of Yakutia (methodology of geological and geophysical study and predictive assessment)]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya mineralno-syryevogo kompleksa Respubliki Sakha (Yakutiya) v sovremennykh usloviyakh: materialy konferentsii* [Current State and Perspectives of the development of raw mineral complex in the Sakha Republic (Yakutia): Conference proceedings]. Yakutsk, 2003, pp. 89–92. (In Russ.).

© Е. Н. Махнач, А. В. Мамаева, 2022



## ПЕТРО-ГЕОХИМИЯ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ И ЭКСТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КЕДРОВО-КОРГОНЧИКОВСКОГО РАЙОНА ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Алтайский край, Россия

Приведены данные по петрогеохимии, петрологии и рудоносности субвулканических и экструзивных образований коргонского комплекса девона Кедрово-Коргончиковского района Горного Алтая. Охарактеризованы низкощелочные риодациты, натрий-калиевые риодациты, трахириодациты, трахириолиты и риолиты, отнесенные к пералюминиевой серии и преимущественно к магнезиальным разновидностям. В породах отмечаются повышенные содержания золота и пониженные – серебра. Отношения легких лантаноидов к тяжелым значительно варьируют – от 2,1 до 26,2, легких к средним – от 1,94 до 11,8. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W-типа, меняющийся от 0,29 до 0,68 и указывающий на обилие летучих компонентов ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , S или  $H_2S$ ), что способствовало образованию кварцитов и аргиллизитов. Вулканыты имеют признаки мантийных образований и контаминации их коровым материалом за счет плавления граувакк и амфиболитов нижней коры. Рудоносность района реализована в формировании перспективных эпитермальных золото-серебряных и медно-молибден-золото-порфиновых проявлений. Предположительно район – объект проявления процессов флюидного мантийно-корового рудогенеза при формировании крупнообъемного эпитермального золото-серебряного и медно-молибден-золото-порфинового оруденения.

**Ключевые слова:** Горный Алтай, низкощелочные риодациты, натрий-калиевые риодациты, трахириодациты, трахириолиты, риолиты, летучие компоненты, золото, серебро, медь, молибден.

## PETRO-GEOCHEMISTRY OF SUBVOLCANIC AND EXTRUSIVE FORMATIONS OF THE KEDROVO-KORGONCHIKOVSKY DISTRICT OF THE GORNY ALTAI

A. I. Gusev

V.M.Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Altai Krai, Russia

The paper provides data on petro-geochemistry, petrology and ore content of subvolcanic and extrusive formations of the Korgon Devonian complex of the Kedrovo-Korgonchikovskiy district of the Gorny Altai. Low-alkali rhyodacites, sodium-potassium rhyodacites, trachyrhyodacites, trachyrhyolites and rhyolites are characterized. They are attributed to the aluminous series and mainly to magnesian varieties. Increased gold contents and decreased silver contents are observed in rocks. Ratios of light to heavy lanthanoids show a large range of values – from 2.1 to 26.2 and light ones to medium ones – from 1.94 to 11.8. The tetrad effect of W-type REE fractionation, varying from 0.29 to 0.68 and indicating an abundance of volatile components, including  $H_2O$ ,  $CO_2$ , S or  $H_2S$ , was revealed in rocks, that served as the formation of quartzites and argillizites. Volcanites contain signs of mantle formations and contamination by crustal material due to melting of greywackes and amphibolites of the lower crust. The ore content of the district is realized in the formation of promising epithermal gold-silver and copper-molybdenum-gold-porphyry occurrences. The district is thought to be the object of the process manifestation of the fluid mantle-crustal ore genesis during formation of large-volume epithermal gold-silver, copper-molybdenum-gold-porphyry mineralization.

**Keywords:** Gorny Altai, low-alkali rhyodacites, sodium-potassium rhyodacites, trachyrhyodacites, trachyrhyolites, rhyolites, volatile components, gold, silver, copper, molybdenum.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-45-54

Специфика минерализации вулканогенно-осадочных разрезов раннего – среднего девона Уйменского, Лебедского, Коргонского, Чарышского, Делюно-Юстыдского прогибов Горного Алтая определяется наличием эпитермальных золото-серебряных и медно-молибден-золото-порфиновых месторождений и проявлений. Некоторые из них разрабатывались (Суричское и др.), другие подготавливаются к разработке (Красноярское и др.). В Коргонском прогибе в последнее время обнаружено несколько перспективных проявлений указанных типов, сосредоточенных в левом борту р. Кумир (Кедрово-Коргончиковский район). Примечательно, что в указанном районе оба типа проявлений часто пространственно совме-

щены, а это считается одним из факторов возможного обнаружения крупных по запасам металлов месторождений, включая крупнообъемные [1, 4, 5, 16].

Цель работы – изучение субвулканических и экструзивных образований Кедрово-Коргончиковского района, с которыми пространственно и парагенетически связаны перспективные проявления медно-золото-серебряного эпитермально-порфинового семейства руд. Актуальность их исследования определяется тем, что субвулканические, экструзивные, эпитермальные и порфиновые объекты вместе с аргиллизитами и вторичными кварцитами в таких обстановках формируют единые магмо-рудно-метасоматические системы.

## Геологическое строение Кедрово-Коргончиковского района

Кедрово-Коргончиковский район (площадь более 70 км<sup>2</sup>) характеризуется многочисленными эпitherмальными золото-серебряными и порфировыми молибден-золото-медными проявлениями. Ему соответствует аномальное комплексное геохимическое поле Au, Ag, Mo, Cu. Находится он

в междуречье Коргона и Кумира, приурочен к зоне сочленения субширотного Тигерекского разлома и примыкающих к нему сбросо-сдвигов северо-западной ориентировки. Вдоль зоны Тигерекского разлома трассируются несколько каров с озерами (рис. 1), выстраивающимися в линию северо-западного направления.

Следует отметить, что указанные кары характеризуются околожерловыми фациями вулканитов

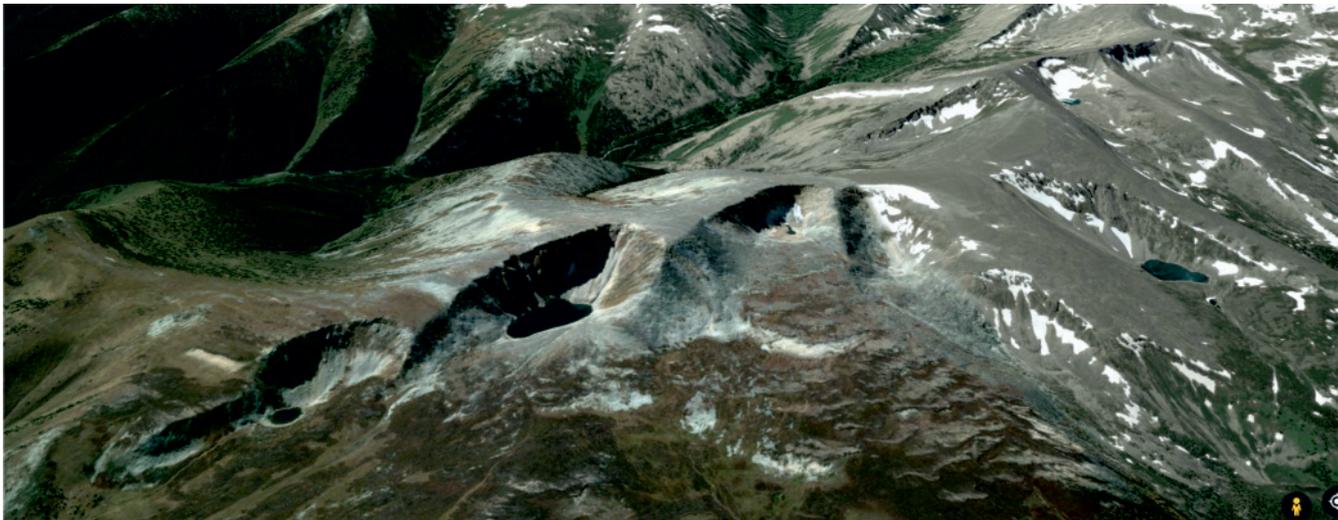


Рис. 1. Космоснимок Коргонского хребта с карами, приуроченными к Тигерекскому разлому

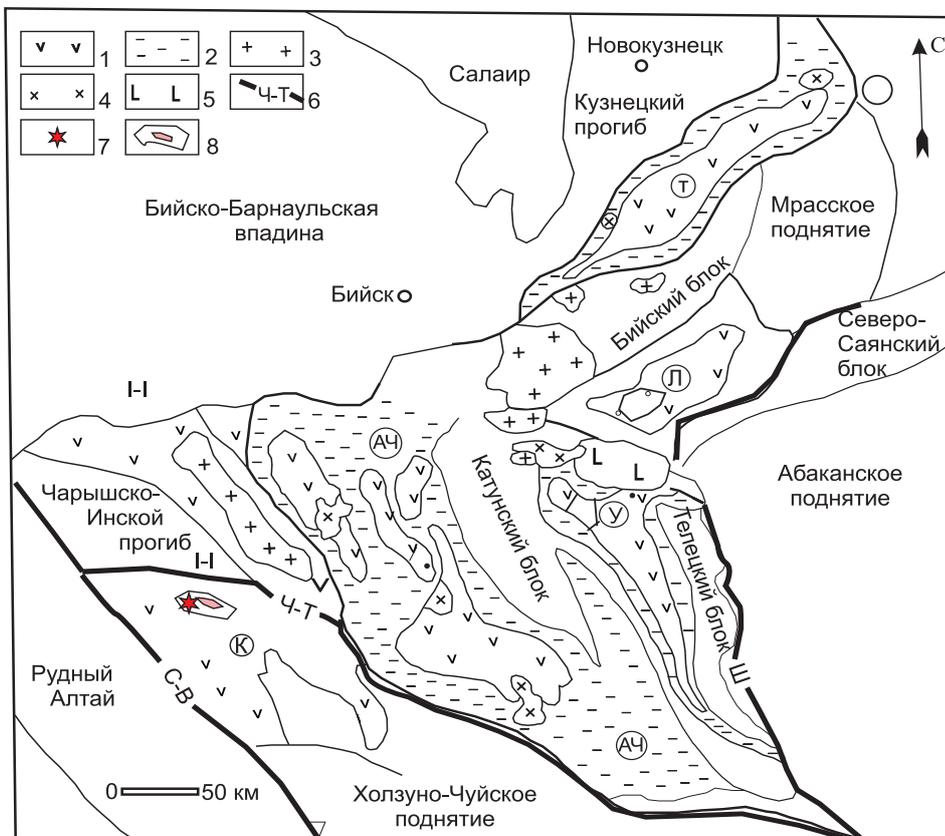
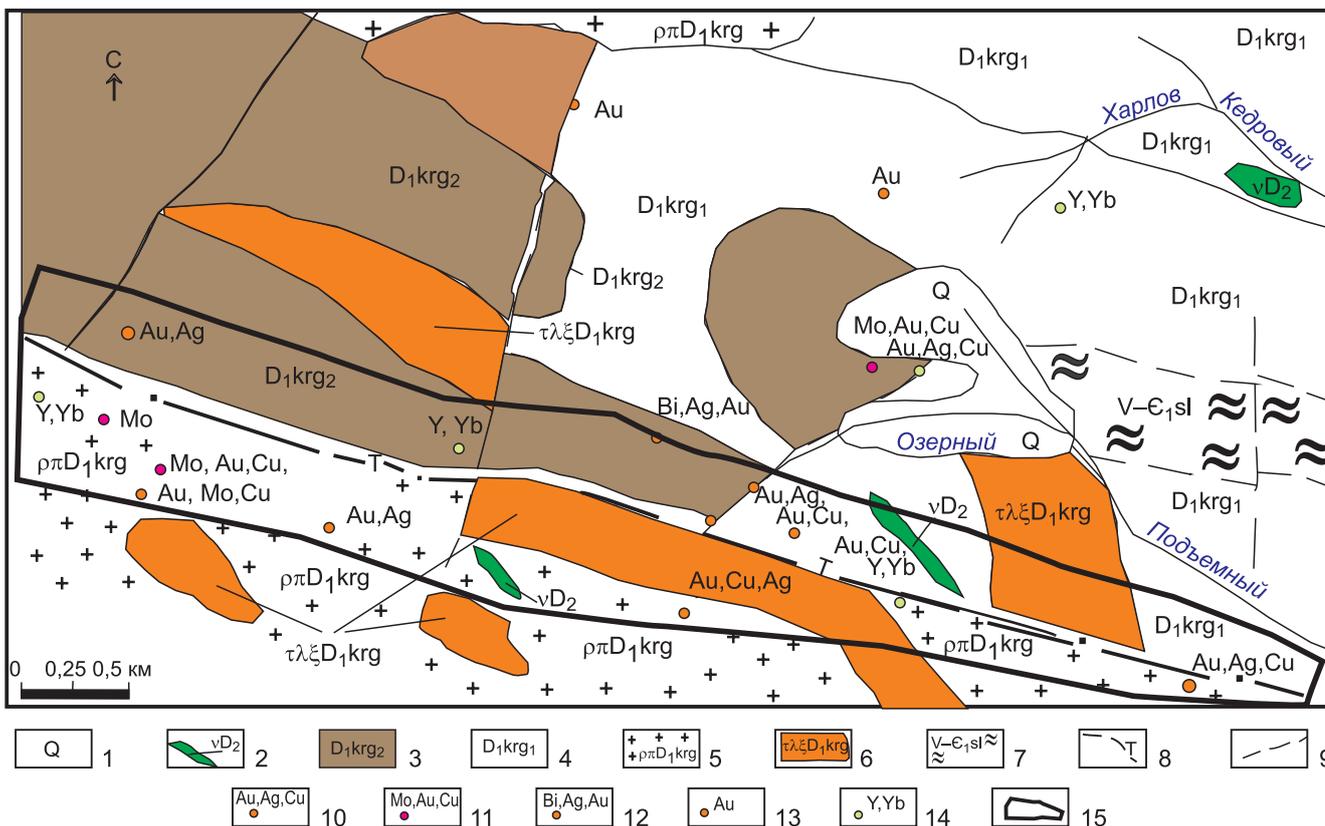


Рис. 2. Положение Кедрово-Коргончиковского вулканического центра на структурно-тектонической схеме западной части Алтае-Саянской складчатой области и полезных ископаемых на этап  $O_1$ – $P_1$  (составлена автором с использованием материалов С. П. Шокальского, Г. А. Бабина, Н. А. Берзина, М. М. Булова и др.)

1–2 – структурно-вещественные комплексы активной континентальной окраины: 1 – вулканогенные образования нижнего – среднего девона (базальты, трахибазальты, андезиты, риолиты и их туфы, игнимбриты); 2 – туфогенные образования ордовика – нижнего девона (конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты); 3–5 – коллизионные комплексы: 3 – граниты, умеренно-щелочные граниты (I-типа), кварцевые сиениты среднего девона; 4 – габбро,

диориты, тоналиты, граниты (I-типа) нижнего силура – нижнего девона; 5 – габбро, плагиограниты среднего кембрия; 6 – глубинные разломы (С-В – Северо-Восточный, Ч-Т – Чарышко-Теректинский, Ш – Шапшальский; прогибы: Т – Тельбесский, АЧ – Ануйско-Чуйский, Л – Лебедской, У – Уйменский, К – Коргонский); 7 – Кедрово-Коргончиковский вулканический центр; 8 – контур Кедрово-Коргончиковского потенциального рудного поля с залежью золотоносных кварц-карбонат-серицитовых метасоматитов



**Рис. 3.** Схематическая геологическая карта и полезные ископаемые Кедрово-Коргончиковского золоторудного поля  
 1 – неразделенные отложения квартера; 2 – дайки габброидов среднедевонского возраста; 3 – туфы, лавы дацитов, трахидацитов, андезидацитов, андезитов, андезибазальтов, реже риолитов среднекоргонской подсвиты; 4 – туфы, игнимбриты, лавы дацитов, риодацитов, риолитов нижней подсвиты коргонской свиты; 5 – субвулканические тела риолитов, риодацитов; 6 – экструзии трахириодацитов, трахириолитов; 7 – серицит-хлоритовые, серицит-хлорит-кварцевые сланцы шельдянской свиты; 8 – Тигерекский разлом; 9 – прочие разломы; 10–14 – рудные проявления: 10 – эпитермальное золото-серебряные, 11 – медно-молибден-золото-порфировые, 12 – жильные проявления висмута, серебра, золота, 13 – жильные золото-сульфидно-кварцевые, 14 – жильные кварц-редкоземельные, 15 – залежь золотоносных кварц-карбонат-серицитовых метасоматитов

с редкими бомбовыми горизонтами и кластолавами, а также субвулканическими и экструзивными телами, сложенными риодацитами, трахидацитами, трахириолитами, риолитами. Кары имеют разнообразную форму в плане: эллипсоидную, неправильную изометричную и вытянутую вдоль Тигерекского разлома. Размеры их в поперечнике от первых сотен метров до 2 км. Часть каров сопровождается небольшими озерами. Стенки каров субвертикальные высотой 100–250 м. При картировании установлено, что кары, будучи экзарационными морфологическими формами, унаследованы от палеоокеанов, этим и объясняется их приуроченность к долгоживущему Тигерекскому разлому, который в свое время контролировал линейное распределение жерл палеовулканов раннедевонского вулканизма, а также субвулканических и экструзивных тел.

В пределах Коргонского хребта выявлено несколько вулканических центров, которые контролируют размещение не только субвулканических тел, но и связанных с ними золото-серебряных проявлений эпитермального типа и медно-молибден-золото-порфировых объектов (рис. 2).

Пространственно с Кедрово-Коргончиковским вулканическим центром ассоциируют золото-се-

ребряные, медно-молибден-золото-порфировые, жильные кварц-редкоземельные и жильные золото-сульфидно-кварцевые проявления (рис. 3).

### Петро-геохимические особенности пород

Петрографическое описание пород приведено в табл. 1, а химический состав породных типов субвулканических и экструзивных тел – в табл. 2.

Во всех породах различные соотношения калия и натрия при суммарном содержании щелочей 6,8–9,45 %; отмечаются повышенные концентрации золота и значительные их колебания (105–230 мг/т) при относительно низких содержаниях серебра (3,4–45,9 г/т). Обращают на себя внимание аномально высокие содержания золота в вулканических породах, свидетельствующие о потенциально золоторудной специализации вулкаников. На постмагматической стадии это выражено в формировании зоны кварц-серицитовых метасоматитов размером 1×10 км, в пределах которой определены отдельные интервалы мощностью более 5 м с содержанием Au от 3 до 13,5 г/т, Ag от 65 до 960 г/т.

На фоне умеренных концентраций суммы редких земель (118,4–318,5 г/т) проявлена значительная разница отношений легких лантаноидов к тяжелым



Таблица 1

## Петрографическое описание породных типов

Порода	Петрографическое описание
Низкощелочной риодацит	Макроскопически светло-серая порода, местами со слабо выраженной флюидалностью и пористостью. Во вкрапленниках присутствуют амфибол и олигоклаз-андезин (№ 28–34). Амфибол представлен обыкновенной роговой обманкой, местами замещаемой хлоритом. Плагиоклаз незональных вкрапленников относится к олигоклаз-андезину, зональные индивиды в центральной части сложены лабрадором (№ 52–56), а периферия – олигоклазом (№ 32–37). Основная ткань породы имеет сферолитовую микроструктуру, состав (%): олигоклаз (70), кварц (20), моноклинный пироксен (10). Последний местами замещен эпидотом. Акцессорные минералы: пирит, апатит, титанит, халькопирит
Натрий-калиевый риодацит	По внешнему виду серые с кремовым оттенком породы, массивные, местами с отчетливо выраженной флюидалностью. Структура порфировая. Во вкрапленниках присутствуют кварц, биотит и плагиоклаз. Последний, как правило, зонален. В ядре определяется андезин № 38–42, периферия сложена олигоклазом № 16–21. Биотит вкрапленников по оптическим показателям близок к аннит-сидерофиллиту. Замещается эпидотом. Микроструктура основной массы сферолитовая, состав (%): калишпат (75), олигоклаз (15), биотит (10). Акцессорные минералы: титаномагнетит, циркон, апатит, халькопирит
Трахириодацит	Светло-серая порода с голубоватым оттенком. Текстура массивная, нередко флюидалная. Флюидалность подчеркивается различной зернистостью полос. Структура порфировая. Во вкрапленниках – щелочной полевои шпат, моноклинный пироксен, биотит. Щелочной полевои шпат развит в виде призматических кристалликов, обычно представленных анортоклазом ( $Ort_{45}Ab_{55}-Ort_{55}Ab_{45}$ ). Моноклинный пироксен идиоморфен и встречается в виде короткопризматических кристалликов авгита размером до 1 мм. Биотит таблитчатый и близок по оптическим показателям к анниту. Микроструктура основной массы сферолитовая. Основная ткань породы сложена мелкими выделениями калиевого полевои шпата, альбита, биотита. Акцессорные минералы: титанит, апатит, циркон, пирит, ортит
Трахириолит	Серая порода с голубоватым оттенком, полосчатая. Полосчатость обусловлена чередованием разнотернистых линейных участков. Иногда характерны пористые разности. Это порфировые образования, во вкрапленниках которых присутствуют кварц, щелочной полевои шпат, амфибол, биотит. Щелочной полевои шпат овеществлен анортоклазом ( $Ort_{52}Ab_{48}-Ort_{58}Ab_{42}$ ). Биотит присутствует в виде чешуек, относящихся к ряду аннит-сидерофиллит. Замещается хлоритом. Основная ткань породы сложена щелочным полевым шпатом, кварцем, биотитом. Микроструктура основной ткани гранофировая с отчетливыми ихтиоглиптами кварца в щелочном полевои шпате. Акцессорные минералы: циркон, ортит, апатит, титанит
Риолит	Светлая порода с розоватым оттенком, отчетливой флюидалностью и порфировой структурой. Во вкрапленниках присутствуют кварц и щелочной полевои шпат. Последний представлен анортоклазом ( $Ort_{56}Ab_{44}-Ort_{61}Ab_{39}$ ). Основная ткань породы имеет микросферолитовую структуру и состоит из кварца, щелочного полевои шпата, кислого плагиоклаза, биотита. Акцессорные минералы: ортит, циркон, монацит, апатит, титанит, сульфиды

Таблица 2

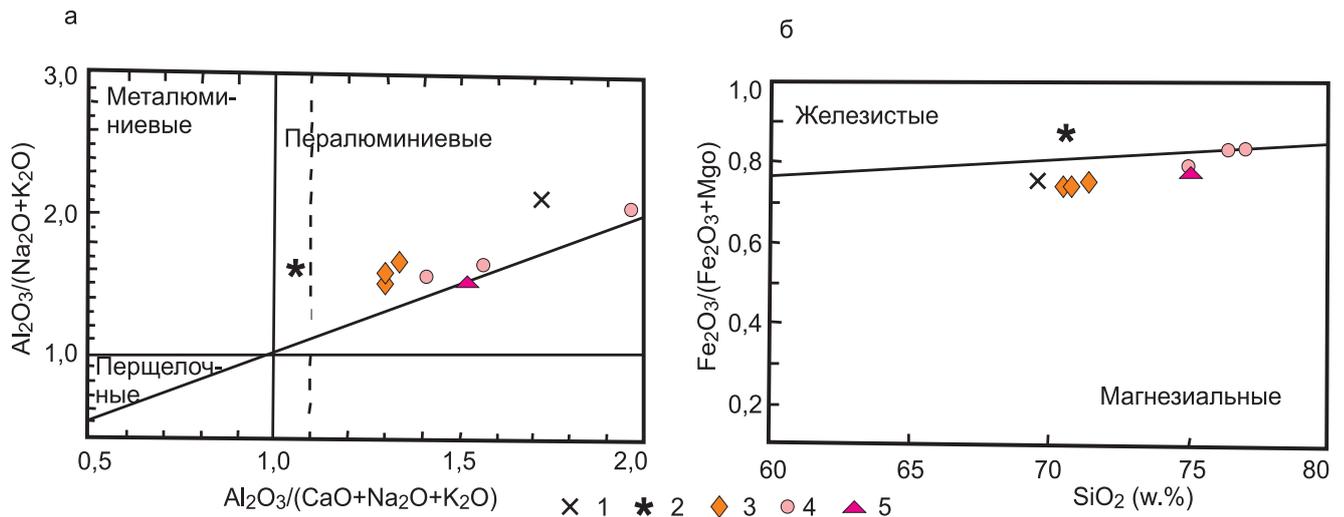
Содержания оксидов (мас. %) и микроэлементов (г/т, золота – мг/т) в субвулканических и экструзивных породах коргонского комплекса Озерного проявления

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	70,2	70,5	71,9	70,7	71,1	75,1	76,0	75,9	75,0
TiO <sub>2</sub>	0,68	0,35	0,21	0,27	0,3	0,13	0,09	0,19	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,8	11,9	13,1	13,85	12,9	12,7	11,75	14,6	12,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,88	2,5	2,95	2,4	2,86	1,9	2,76	0,85	1,86
MnO	0,03	0,19	0,04	0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03
MgO	1,56	0,37	0,92	0,84	0,98	0,73	0,79	0,22	0,74
CaO	0,47	2,76	0,23	0,97	0,43	0,24	0,1	0,2	0,22
Na <sub>2</sub> O	4,2	0,42	0,46	2,9	1,6	2,5	2,73	5,1	2,6
K <sub>2</sub> O	2,6	7,57	8,99	6,3	7,5	5,5	4,59	1,9	5,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2	0,08	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,07	0,05
П.п.п.	1,36	2,4	1,2	1,6	1,3	0,96	1,0	0,9	0,93
Сумма	99,9	99,04	99,1	99,93	99,1	99,8	99,9	99,9	99,8



Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	3,6	4,7	0,21	0,6	0,5	0,2	0,4	0,7	0,1
Cr	2,6	3,4	0,8	0,5	0,7	0,4	0,5	0,5	0,2
Ba	141	650	125	648	206	95	460	640	105
Ni	2,8	2,2	0,9	0,7	0,8	0,7	0,72	1,4	0,4
Co	2,9	2,8	0,6	0,9	0,5	0,3	2,3	3,5	0,2
Cu	3,0	5,2	0,3	0,5	0,7	0,2	0,5	1,0	0,6
Zn	9,2	11,5	0,92	1,2	1,0	0,77	0,8	7,0	0,9
Pb	7,9	9,2	10,4	11,5	11,4	8,3	8,0	7,0	9,6
Sn	2,8	3,1	5,2	6,2	5,8	6,3	6,1	4,5	6,9
Sc	14,3	9,2	72	9,3	65	75	5,1	8,4	76
Sr	256	205	110	105	112	45	48	7,1	50
Zr	176	183	235	387	176	206	278	206	256
Nb	12,9	13,0	12,6	12,3	12,1	12,7	12,0	11,9	13,1
Y	30,6	29,7	28,7	26,7	27,2	30,2	28,9	27,6	29,9
U	2,3	2,2	3,3	2,3	3,1	2,9	3,1	2,4	2,8
Th	6,7	6,2	10,5	6,6	9,8	10,6	11,4	8,7	10,1
Li	2,9	9,0	0,1	9,1	0,6	0,28	10,0	21,0	0,7
Be	5,7	6,1	9,2	10,6	9,4	10,4	10,3	9,3	10,6
W	2,6	1,9	4,3	5,5	4,4	2,5	2,2	2,0	2,6
Mo	1,8	2,2	4,1	6,2	5,2	5,5	5,3	5,8	6,0
Rb	46	142	95	142	126	25	71	74	30
Cs	0,27	0,34	8,98	9,2	9,4	5,8	5,9	3,4	6,0
Ga	14,8	16,2	15,7	18,5	17,3	19,5	19,3	19,1	19,6
La	19,4	25,3	99,9	101	94,3	99,9	95,6	18,3	101
Ce	38,7	58	36,4	57	112,7	51,6	44,9	35,3	51,4
Pr	4,3	4,6	4,1	5,2	4,9	4,5	4,4	4,0	4,3
Nd	16,6	17,4	17,1	18,3	49,8	26,4	26,2	15,3	27,4
Sm	6,1	6,3	6,0	5,8	9,7	5,2	5,3	3,77	5,3
Eu	1,97	1,7	1,0	1,65	1,62	0,87	0,86	0,68	0,85
Gd	11,4	12,0	12,1	11,8	7,3	5,4	5,6	3,4	5,5
Tb	1,61	1,0	1,4	1,55	1,18	0,94	0,93	0,5	0,93
Dy	0,9	1,0	0,95	0,98	0,64	0,66	0,67	0,8	0,67
Ho	3,4	3,6	3,5	3,2	3,6	3,5	3,6	3,5	3,6
Er	0,73	0,8	1,0	0,96	0,83	0,9	1,3	1,5	1,4
Tm	2,0	1,3	1,8	2,0	2,0	1,98	0,7	0,9	0,6
Yb	6,0	3,6	4,2	3,8	2,37	2,7	2,9	2,5	2,8
Lu	0,9	0,7	0,8	0,73	0,4	0,41	0,44	0,37	0,43
Hf	5,66	5,8	7,4	6,0	5,9	4,4	4,5	5,4	4,6
Ta	0,39	0,7	1,2	0,86	0,8	0,65	0,66	0,4	0,7
Au	110	105	215	190	195	220	235	105	230
Ag	3,5	3,4	15,9	15,0	16,7	20,3	35,6	5,7	45,9
Sb	0,11	0,21	12,6	11,8	12,1	16,7	22,7	0,6	29,6
Ge	1,1	1,7	2,2	3,5	2,7	3,1	2,8	3,0	3,6
ΣREE	166,6	167,0	317,9	223,7	318,5	235,2	222,3	118,4	236,08
La/Yb <sub>N</sub>	2,1	4,6	15,7	17,5	26,2	24,4	21,8	4,8	23,9
La/Sm <sub>N</sub>	1,94	2,46	10,2	10,7	5,9	10,8	11,0	2,9	11,8
Eu/Eu*	0,72	0,59	0,03	0,6	0,57	0,5	0,48	0,58	0,49
U/Th	0,34	0,35	0,31	0,35	0,32	0,27	0,27	0,28	0,28
TE <sub>1,3</sub>	0,61	0,68	0,31	0,4	0,33	0,31	0,29	0,6	0,29

Примечания. 1. Порода: 1 – низкощелочной риодацит, 2 – натрий-калиевый риодацит, 3–5 – натрий-калиевые трахириодациты, 6–8 – риолиты, 9 – трахириолит. 2. Анализы выполнены: силикатный на главные компоненты химическим методом и на микроэлементы – методом ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва). 3. N – элементы нормированы по [7]. 4. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по [9]; Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2.



**Рис. 4.** Диаграммы  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  (а) по [12] и  $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO) - SiO_2$  (б) по [17] для пород Кедрово-Коргончиковского рудного поля

1 – низщелочной риодацит; 2 – натрий-калиевый риодацит; 3 – натрий-калиевые трахириодациты; 4 – риолиты; 5 – трахириолиты

(2,1–26,2) и легких к средним (1,94–11,8), указывающая на дифференцированный тип распределения РЗЭ. Уран-ториевые отношения колеблются в узких пределах (0,27–0,35), что свидетельствует о незначительных вторичных изменениях пород. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов (ТЭФ РЗЭ) W-типа варьирует от 0,29 до 0,68 (граничное значение менее 0,9), подчеркивая существенную роль магматогенных флюидов в расплавах, обогащенных летучими компонентами ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , S или  $H_2S$ ) [2]. Обилие летучих компонентов в расплавах создавало условия для формирования в последующем золото-серебряного и медно-молибден-золото-порфиорового оруденения и обеспечивало интенсивные вторичные изменения, выразившиеся в формировании кварцитов и аргиллизитов.

На классификационных диаграммах породные типы анализируемых образований локализуются в областях пералюминиевых и в большинстве случаев магнезиальных, за исключением натрий-калиевого риодацита, который попадает в поле железистой серии (рис. 4).

### Интерпретация полученных результатов

Соотношение La/Nb и Ce/Y в породах Кедрово-Коргончиковского рудного поля показывает тренд, близкий к происхождению их в результате смешения мантийного расплава с коровым материалом (рис. 5, а). Мантийную природу процессов вдоль Тигерекского разлома подтверждают базитовые дайки, а также повышенные концентрации РЗЭ и золота. На пути подъема расплавов из глубинных мантийных очагов, вероятно, происходила коровая контаминация, о чем свидетельствуют значительные негативные корреляции отношений Nb/La и La/Sm (см. рис. 5, б).

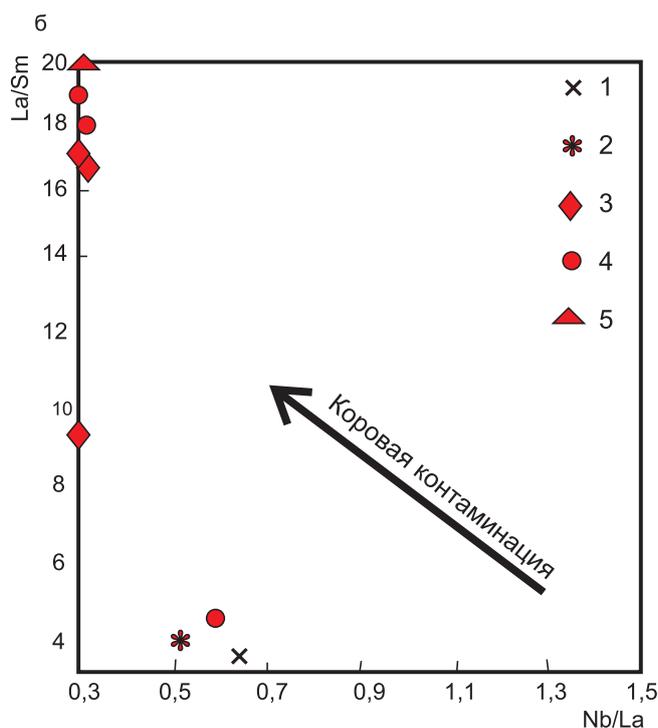
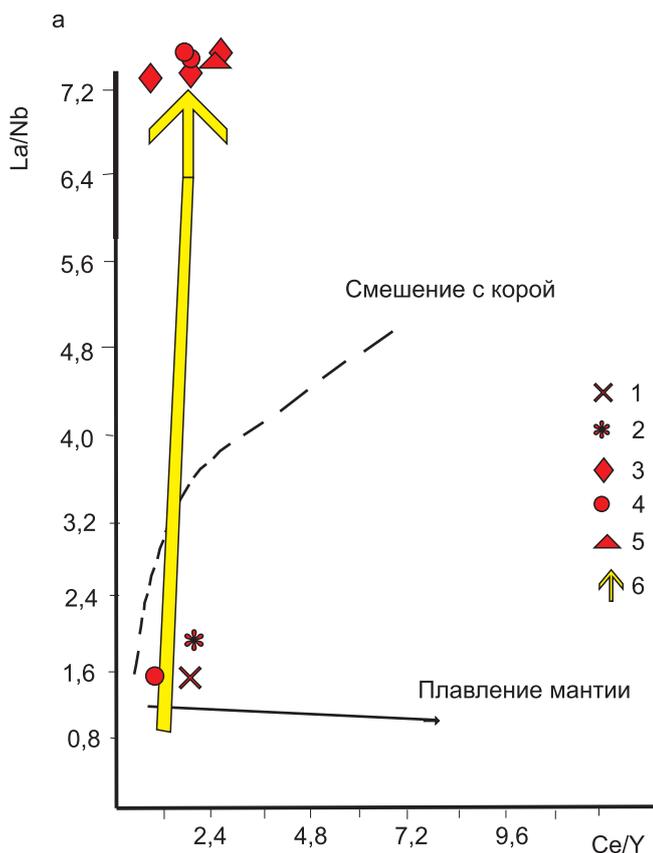
Указанная контаминация коровым материалом подтверждается также высокими отношениями

Nb/U (3,8–5,9) и сильно варьирующими отношениями Nb/La (0,12–0,66), отличающимися от средних значений в континентальной коре (3,91 и 0,40 соответственно) [15].

Определить возможные источники контаминации материала коры можно, используя экспериментальные диаграммы по плавлению различных пород по [8, 10, 11]. На этих диаграммах составы субвулканических и экструзивных пород Кедрово-Коргончиковского рудного поля попадают в поля или близки к грауваккам, амфиболитам и реже – фельзитическим пелитам нижней коры (рис. 6, а–в).

По соотношению кремнекислотности пород и индексу A/CNK фигуративные точки анализируемых составов пород близки к известково-щелочному тренду вулканических пород орогенных регионов; кроме того, они локализуются вблизи среднего состава палеозойских граувакк (см. рис. 6, г).

Результатом становления вулканогенных и экструзивных пород участка стало формирование различных типов оруденения, из которых важнейшее значение имеют эпитермальное золото-серебряное и медно-молибден-золото-порфиоровое. В верховьях ручьев Коргончик, Кедровый и истоков Подъемного ручья во вмещающих риолитах, трахириолитах коргонской свиты, тектонически контактирующих с субвулканическими риолитами и риодацитами, закартирована мощная (1×6 км), ориентированная в западно-северо-западном направлении зона вторичной кварцитовой ассоциации. Кварц-серицитовые метасоматиты, близкие к аргиллизитам (с диккитом и монтмориллонитом), преимущественно в северо-западной части зоны и вторичным кварцитам главным образом в юго-восточной сопровождаются шлиховыми ореолами и единичными знаками золота по всей площади. Постепенно выклинивающаяся в юго-восточном направлении, полоса кварцитов прослежена до р. Кумир еще на 4 км. В коренном



**Рис. 5.** Диаграммы соотношений La/Nb – Ce/Y (а) и Nb/La – La/Sm (б) по [13] для пород Кедрово-Коргончиковского рудного поля  
Усл. обозн. см. на рис. 4

залегании повышенные содержания золота установлены в мощной (более 5 м) зоне кварца и карбонатов: золота 3–13,5 г/т, серебра 65–960 г/т, меди 1–2,2 %.

Параметры зоны общей протяженностью около 10 км с высокими содержаниями благородных металлов впечатляют и позволяют рекомендовать проведение в ее пределах детальных поисково-оценочных работ.

Детальное изучение этой залежи интересно по следующим причинам:

- 1) размещение залежи среди вулканических пород с аномально высокими значениями фоновой золотоносности (0,2–0,3 г/т);
- 2) отсутствие в районе интрузивных массивов, на постмагматической стадии которых могли бы формироваться золотосодержащие кварц-карбонат-серицитовые метасоматиты, слагающие залежь;
- 3) пространственная приуроченность залежи к зоне глубинного Тигерекского разлома.

Приведенные данные позволяют высказать предположение об участии в формировании залежи золотоносных кварц-карбонат-серицитовых метасоматитов рудоносных мантийных (интрателлурических) флюидов с аномальными параметрами и комплексным составом летучих компонентов.

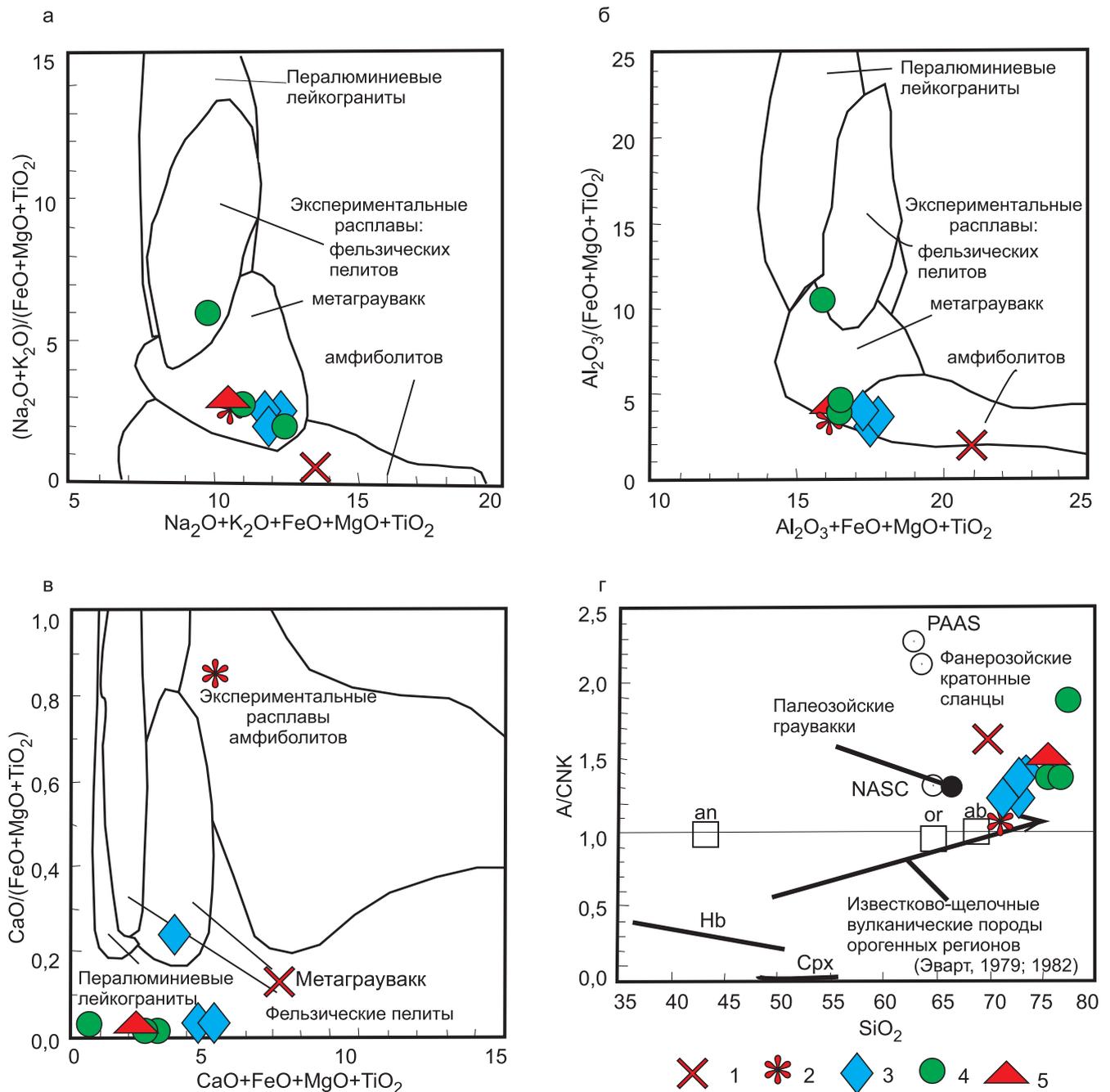
В северо-западной части района в верховьях руч. Озерный среди аргиллизированных и пропилитизированных вулканитов отмечены проявления с содержаниями золота 2–10 г/т, меди 0,5–1,2 %, молибдена 0,05–0,2 %, серебра 50–1250 г/т; в суб-

вулканических дайках риолитов с сульфидами содержание Au составляет 0,8–2,6 г/т.

К этой же полосе метасоматитов приурочены перспективные проявления эпитермального золото-серебряного состава, а также золото-молибден-медно-порфиорового типа, представляющие единую рудно-магмо-метасоматическую систему. Это позволяет выделять в указанном районе потенциальное Кедрово-Коргончиковское рудное поле. В нем вот уже 3-й год ведет поисковые работы с бурением до глубины 200 м отряд московского объединения ООО ORE MARA.

В целом приведенные факты указывают, что рудообразование в Кедрово-Коргончиковском потенциальном рудном поле несет в себе черты не только коровых, но и мантийных процессов [1]. Формирование этого объекта следует рассматривать с учетом мантийного фактора, т. е. с позиций нелинейной металлогении [6], предполагающей непосредственное участие рудоносных мантийных (интрателлурических) флюидов в процессах мантийно-корового рудогенеза.

По нашему мнению, указанный район представляет собой уникальный объект совмещения процессов мантийного воздействия с участием интрателлурических флюидов мантийной природы на всех стадиях формирования эпитермального золото-серебряного, медно-молибден-золото-порфиорового и предполагаемого крупнообъемного оруденения, связанного с глубинными разломами, несущими черты мантийной природы. Это находится в прямой связи с рекомендациями Государствен-



**Рис. 6.** Экспериментальные диаграммы для субвулканических и экструзивных пород Кедрово-Коргончиковского рудного поля: а–в – композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзитических пелитов (мусковитовых сланцев), метаграувакк и амфиболитов; г – диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{A/CNK}$ . Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов по [8, 10, 11]; А –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CNK – сумма  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ; an – анортит, or – ортоклаз, ab – альбит, Hb – роговая обманка; PAAS – постаршейская средняя австралийская осадочная порода; NASC – североамериканский континентальный сланец. Остальные усл. обозн. см. на рис. 4

ной геологической службы МПР России за 2001 г. В условиях истощения минерально-сырьевой базы в известных золоторудных районах России одной из важных задач, обеспечивающих устойчивое развитие золотодобывающей отрасли, является проведение геолого-разведочных работ, ориентированных на выявление крупных месторождений с рядовыми и бедными рудами [3], т. е. крупнообъемных. Подобный положительный опыт имеется в соседнем регионе, где проведена оценка на такой тип золотого оруденения зоны золотоносных березитоподобных

метасоматитов, развитых в калтасском зеленосланцевом комплексе раннего рифея в пределах Федоровско-Магызы-Калтасской структурно-металлогенической зоны Кузнецко-Алатауского золоторудного пояса Алтае-Саянской складчатой области [4, 5].

### Выводы

Субвулканические и экструзивные образования Кедрово-Коргончиковского района относятся к пералюминиевой серии пород и преимущественно к магнезиальной. Они формировались в результа-

те мантийно-корового взаимодействия с контаминацией нижнекорового компонента, последний, в свою очередь, – в результате процессов плавления граувакк и амфиболитов. Глубинные очаги характеризуются высокими концентрациями летучих компонентов, преимущественно  $H_2O$ ,  $CO_2$ , S или  $H_2S$ , которые обеспечивали интенсивные процессы аригиллизации, пропицитизации вулканитов и образование вторичных кварцитов, а также перенос металлов в гидротермальных растворах. Комплекс этих процессов приводил к формированию эпитеpmальных Au-Ag, Cu-Mo-Au-порфировых, редкоземельных и крупных протяженных совмещенных в пространстве залежей, сформированных под воздействием мантийных (интрателлурических) флюидов, приуроченных к глубинному Тигерекскому разлому. В Кедрово-Коргончиковском районе имеются возможности обнаружения крупнообъемных золоторудных месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А. И., Коробейников А. Ф. Факторы мантийно-корового взаимодействия в магматогенных флюидах рудогенерирующих систем // Изв. ТПУ. – 2009. – Т. 315, № 1. – С. 11–18.
2. Гусев А. И., Табакаева Е. М. Магматизм и эпитеpmальное Ag-Au оруденение Красноярского рудного поля Горного Алтая // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 1. – С. 26–38.
3. Караганов В. В. Итоги работы государственной геологической службы за 2001 г. и приоритетные направления деятельности МПР России в развитии минерально-сырьевой базы России и ее континентального шельфа в 2002 г. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2002. – № 1–2. – С. 4–11.
4. Шепель А. Б., Гавриленко М. Е. Петрохимические особенности оруденения и вопросы генезиса Кедровского большеобъемного золоторудного проявления нетрадиционного типа (Кузнецкий Алатау) // Золото и технологии. – 2017. – № 2 (36). – С. 84–94.
5. Шепель А. Б., Белоношко Е. А., Гавриленко М. Е. Поисковые критерии крупных большеобъемных золоторудных месторождений нетрадиционного типа // Золото и технологии. – 2015. – № 2 (28). – С. 95–104.
6. Щеглов А. Д., Говоров И. Н. Нелинейная металлогения и глубины Земли. – М.: Наука, 1985. – 325 с.
7. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.
8. Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // Lithos. – 1999. – Vol. 46, issue 3. – P. 605–626.
9. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63, no. 3/4. – P. 489–508.
10. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary–Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks // Trondjemites, Dacites and Related Rocks. – Amsterdam, 1979. – P. 13–121.
11. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary–Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range // Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. – Chichester, 1982. – P. 25–95.
12. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic discrimination of granitoids // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1989. – Vol. 101. – P. 635–643.
13. Nb and Pb in oceanic basalts – new constraints on mantle evolution / A. W. Hofmann, K. P. Jochum, M. Seufert, W. M. White // Earth Planet. Sci. Lett. – 1986. – Vol. 79. – P. 33–45.
14. Porphyry to epithermal transition at the Rongna Cu-(Au) deposit, Tibet: Insights from H-O isotopes and fluid inclusion analysis / X.-N. Zhang, G.-M. Li, K.-Z. Qin, et al. // Ore Geology Reviews. – 2020. – Vol. 123. – P. 103–585.
15. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // Treat. Geochem. – 2003. – Vol. 3. – P. 1–64.
16. Structural control on overprinting high-sulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran / N. Yasami, M. Ghaderi, S. Madanipour, B. Taghilou // Ore Geology Reviews. – 2017. – Vol. 86. – P. 212–224.
17. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science. – 1998. – Vol. 89. – P. 113–119.

#### REFERENCES

1. Gusev A.I., Korobeynikov A.F. [Factors of mantle-crust interaction in magmatogene fluids of ore parent systems]. *Izvestiya Tomskogo Polytekhnikeskogo Universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2009, vol. 315, no. 1, pp. 11–18. (In Russ.).
2. Gusev A.I., Tabakaeva E.M. [Magmatizm and epithermal Ag-Au ore mineralization of Krasnoyarsk gold ore field of Gorny Altai]. *Izvestiya Tomskogo Polytekhnikeskogo Universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 1, pp. 26–38. (In Russ.).
3. Karaganov V.V. [Results of the work of the State Geological Survey for 2001 and key priorities of the MNR of Russia in the development of the mineral resource base of Russia and its continental shelf in 2002]. *Mineralnyye Resursy Rossii. Ekonomika i Upravleniye – Mineral Resources of Russia. Economics and Management*, 2002, no. 1–2, pp. 4–11. (In Russ.).
4. Shepel A.B., Gavrilenko M.E. [Petrochemical features of mineralization and genesis questions of the Kedrovsky large-volume gold ore exposure of uncon-



ventional type (Kuznetsk Alatau)]. *Zoloto i tekhnologii*, 2017, no. 2 (36), pp. 84–94. (In Russ.).

5. Shepel A.B., Belonozhko E.A., Gavrilenko M.E. [Prospecting criteria for major large-volume gold ore fields of unconventional type]. *Zoloto i tekhnologii*, 2015, no. 2 (28), pp. 95–104. (In Russ.).

6. Shcheglov A.D., Govorov I.N. *Nelineynaya metallogeniya i glubiny Zemli* [Non-linear metallogeny and deep subsurface of the Earth]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 325 p. (In Russ.).

7. Anders E., Greevesse N. Abundences of the elements: meteoric and solar. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1989, vol. 53, pp. 197–214.

8. Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 1999, vol. 46, issue 3, pp. 605–626.

9. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu\*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1999, vol. 63, no. 3/4, pp. 489–508.

10. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary–Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks. *Trondjemites, Dacites and Related Rocks*. Amsterdam, 1979, pp. 13–121.

11. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary–Recent orogenic volcanic rocks: with special ref-

erence to the andesitic-basaltic compositional range. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*, Chichester, 1982, pp. 25–95.

12. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1989, vol. 101, pp. 635–643.

13. Hofmann A.W., Jochum K.P., Seufert M., White W.M. Nb and Pb in oceanic basalts – new constraints on mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1986, vol. 79, pp. 33–45.

14. Zhang X.-N., Li G.-M., K.-Z. Qin, et al. Porphyry to epithermal transition at the Rongna Cu-(Au) deposit, Tibet: Insights from H-O isotopes and fluid inclusion analysis. *Ore Geology Reviews*, 2020, vol. 123, pp. 103–585.

15. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. *Treat. Geochem.*, 2003, vol. 3, pp. 1–64.

16. Yasami N., Ghaderi M., Madanipour S., Taghiloou B. Structural control on overprinting high-sulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran. *Ore Geology Reviews*, 2017, vol. 86, pp. 212–224.

17. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. *Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science*, 1998, vol. 89, pp. 113–119.

© А. И. Гусев, 2022



## ГЕОХИМИЯ РАННЕГО ДИАГЕНЕЗА ЛИМНОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ (РОССИЙСКАЯ АРКТИКА)

А. Е. Мальцев<sup>1</sup>, В. А. Бычинский<sup>2</sup>, С. К. Кривоногов<sup>1,3</sup>, Г. А. Леонова<sup>1</sup>, Л. В. Мирошниченко<sup>1</sup>, А. С. Шавекин<sup>1</sup>, С. Ф. Нечепуренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; <sup>2</sup>Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия; <sup>3</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Впервые исследованы некоторые особенности раннего диагенеза донных отложений ледниковых озер Арктической зоны России (Пясино и Мелкое) по длинным кернам бурения. Впервые для озер Российской Арктики установлен химический состав поровых вод на всю мощность донных отложений. Показано, что обогащение поровых вод биогенными соединениями  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и растворенным органическим углеродом (РОУ) является следствием микробиологической деструкции органического вещества (ОВ), в результате которой в поровую воду переходят наиболее лабильные компоненты ОВ, а в осадках возникает восстановительная обстановка. Установлено увеличение концентраций в поровых водах Fe, Mn, Al, As, B, Ba, Co, Mo, Ni, Si, Sr, V, Y в сравнении с придонной водой вследствие диагенеза донных отложений. Показана роль ОВ в изменениях минерального состава осадков и образовании аутигенных минералов (пирит, кальцит). Бедные ОВ осадки характеризуются низкими содержаниями восстановленных форм S (в составе сульфидов Fe,  $\text{H}_2\text{S}$ , тиосульфатов и т. д.), что указывает на низкую интенсивность процессов бактериальной сульфатредукции.

**Ключевые слова:** поровые воды, озерные осадки, аутигенные минералы, диагенез, микроэлементы, геохимия, Арктика.

## GEOCHEMISTRY OF THE EARLY DIAGENESIS OF LIMNE-GLACIAL DEPOSITS ON THE EXAMPLE OF LAKES OF THE NORILO-PYASINSKAYA WATER SYSTEM (RUSSIAN ARCTIC)

A. E. Maltsev<sup>1</sup>, V. A. Bychinskiy<sup>2</sup>, S. K. Krivonogov<sup>1,3</sup>, G. A. Leonova<sup>1</sup>, L. V. Miroshnichenko<sup>1</sup>, A. S. Shavekin<sup>1</sup>, S. F. Nepochurenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; <sup>2</sup>A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia; <sup>3</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

For the first time, some features of the early diagenesis of bottom sediments of glacial lakes in the Arctic zone of Russia (Pyasino and Melkoe) were studied using long drilling cores. For the first time, the chemical composition of pore waters for the entire thickness of bottom sediments was determined for the lakes of the Russian Arctic. The enrichment of pore waters with biogenic compounds  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and dissolved organic carbon (DOC) is shown to be a consequence of microbiological destruction of organic matter (OM), as a result of which the labilest components of OM pass into the pore water, and reducing environment arises in the sediments. An increase in Fe, Mn, Al, As, B, Ba, Co, Mo, Ni, Si, Sr, V, Y concentrations in pore waters was found in comparison with supra-bottom water due to the diagenesis of bottom sediments. The role of OM in changes concerned with mineral composition of sediments and formation of authigenic minerals (pyrite, calcite) was shown. Sediments poor in OM are characterized by low concentrations of reduced forms of S (sulphur in the composition of Fe sulphides,  $\text{H}_2\text{S}$ , thiosulphates, etc.), which indicates a low intensity of bacterial sulfate reduction processes.

**Keywords:** pore waters, lacustrine sediments, authigenic minerals, diagenesis, microelements, geochemistry, Arctic.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-55-71

Изучение диагенеза имеет важное значение для понимания процессов литогенеза и преобразования рыхлых осадков на дне водных бассейнов в осадочные горные породы. Актуальность данной проблемы определяется в первую очередь недостаточной изученностью процессов раннего диагенеза на континенте, прежде всего в пресноводных и соленых озерах, а также верховых и низинных болотах. Хотя океанический и морской диагенез исследован достаточно подробно [15, 23, 24, 27], вопрос о диагенетических процессах в малых озерах остается открытым [3, 20, 21]. Еще менее изучен диагенез

осадков озер Арктики, который существенно отличается от такового в морях и океанах: недостатком сульфат-иона, иным типом трансформации поровых вод, химическим составом донных отложений, генезисом органического вещества [4, 6, 11, 13].

Гляциальные (ледниковые) отложения озер Арктики с однородным вещественным составом и низкими скоростями накопления в голоцене идеально подходят для изучения процессов раннего диагенеза на континенте. Для ледниковых озер характерен почти неизменный химический состав поверхностных вод на всем протяжении голоцена, что позволя-

ет наиболее точно изучать метаморфизацию поровых вод в диагенезе и лучше диагностировать образование аутигенных минералов. Озера арктического и субарктического поясов России существенно отличаются от озер умеренного пояса: последним свойственны очень неоднородный вещественный состав донных отложений, большая их слоистость и относительно малая мощность [20, 21]. В осадках таких озер довольно сложно отделить дигенетические минералы от минералов, образованных в ходе осадконакопления при смене внутриводоемных условий на разных этапах голоцена, например, осаждение кальцита вследствие повышения солености озерных вод. Довольно сложно диагностировать, с чем связано изменение химического состава поровых вод: были ли это диагенетические процессы, или это отражение изменения химического состава воды во время повышения уровня озера.

Помимо этого, в континентальных водоемах Российской Арктики геохимия донных отложений изучена недостаточно [13], а процессы раннего диагенеза осадков не рассматривались вовсе. В целом большая часть исследований в регионе связана с экологическим мониторингом природных вод или с геохимией отдельных элементов [2, 4, 6, 7, 11]. Все это ставит данную проблему в ряд чрезвычайно актуальных как в теоретическом, так и в практическом аспекте. Взяв за основу методологические подходы к изучению геохимии диагенеза осадков морей и океанов [5, 19, 23, 24, 27], авторы применили ее к озерам Арктики. Цель работы – исследование геохимии постседиментационных превращений, протекающих в донных отложениях и поровых водах в ходе процессов раннего диагенеза на континенте.

### Объекты и методы исследований

Озера Пясино и Мелкое<sup>1</sup> входят в Норило-Пясинскую водную систему (НПВС), которая является уникальным азональным водосбором арктической зоны России и представляет собой цепь озер, соединенных водотоками (рис. 1). Она находится в зоне лесотундры в юго-западной части Северо-Сибирской низменности на северо-западном краю плато Путорана [9].

Современный рельеф и чехол рыхлых отложений сформировались в плейстоцене в основном под воздействием оледенения. На месте растаявших ледников оставались выпаханые ими котловины, которые, заполняясь водой, становились морено-подпрудными озерами. Считается, что весь рельефообразующий комплекс ледниковых и ледниково-озерных отложений западной окраины плато имеет сартанский возраст, однако геохронология

отложений данного региона недостаточно разработана [14]. Тем не менее известно, что дегляциация началась около 20 тыс. лет назад и окончилась 11,7 тыс. лет назад с наступлением современного голоценового межледникового времени. Каждое озеро НПВС (Пясино, Мелкое, Лама), отгорожено собственной грядой и, таким образом, связано с отдельными стадиями оледенения. Соответственно, эти озера имеют разный возраст – от более древнего до более молодого [8].

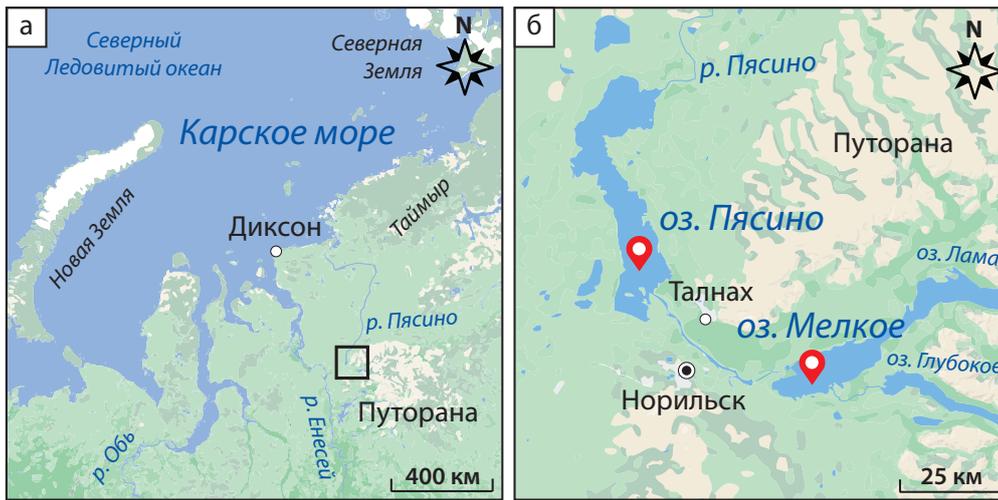
Оз. Пясино расположено в районе отрогов плато Путорана примерно в 20 км от Норильска (см. рис. 1). В озеро впадают реки Норильская, Амбарная, Коева, Бучеко-Юрэх, Щучья; из северного конца озера вытекает р. Пясино, впадающая в Карское море [2]. Площадь озера 735 км<sup>2</sup>, оно вытянуто с юга на север на 70 км, ширина достигает 15 км. Большая часть поверхностных донных отложений представлена песчаным материалом преимущественно кварц-полевошпатового характера [13]. Оз. Пясино, являющееся заключительным звеном НПВС, играет роль регулятора и накопителя сбросов загрязняющих веществ Норильского горно-металлургического комплекса, особенно по нефтепродуктам и тяжелым металлам (Cu, Ni) [7, 11]. Норильский район представляет собой крупный рудный узел и включает в себя сульфидные Cu-Ni месторождения [12].

Оз. Мелкое расположено в широкой котловине между западными отрогами плато Путорана, приблизительно в 25 км восточнее Норильска (см. рис. 1). Его площадь 270 км<sup>2</sup>. В южной части в него впадает р. Глубокая, которая вытекает из оз. Глубокое. Озеро соединяется с оз. Лама протокой длиной 18 км. Берега оз. Мелкое в основном пологие, местами заболоченные, дно преимущественно песчаное. Питание снеговое и дождевое.

Бурение донных отложений озер проводилось вибрационным методом поршневым пробоотборником Ливингстона. Бурильная установка состоит из надувного понтона водоизмещением около 5 т, вышки с грузоподъемными механизмами и бура с набором штанг общей длиной 30 м. Применяемая вибрационная технология бурения позволила получить непрерывные керны озерных отложений диаметром 7,5 см, которые имеют ненарушенную структуру. Длина керна бурения оз. Пясино составила 4 м (координаты точки бурения: N 69.65102°, E 87.87651°), оз. Мелкое – 3,2 м (N 69.31101°, E 89.10311°).

После бурения керны извлекали из пробоотборника, измеряли в них значения pH и Eh с помощью ионометра «Анион 4100», затем герметично упаковывали в полиэтилен и пластиковые пеналы и в ненарушенном состоянии транспортировали в лабораторию. Поровые воды отжимали из 10-сантиметровых слоев керна донных осадков по стандартной методике в пресс-форме диаметром 6 см с помощью гидравлического пресса «Отес PI.88.00»

<sup>1</sup> На этих озерах, а также на р. Пясино еще в 1921 г. побывал великий геолог, исследователь Арктики, Николай Николаевич Урванцев, открывший и норильские медно-никелевые руды, и норильские угли [16, с. 183–190].



**Рис. 1.** Карта-схема района исследования (а), расположения озер и точек бурения (б)

в герметичные шприцы, чтобы ограничить доступ кислорода согласно [4].

Пробы озерной воды отбирали в поверхностном метровом слое батометром с борта понтона. Сразу после отбора в пробах воды проводили измерение pH, Eh и температуры при помощи pH-анализатора «Анион 4100». Воду на гидрохимический анализ (катионы и анионы) не консервировали. Воду на микроэлементы отбирали в полиэтиленовые контейнеры, фильтровали через мембранный фильтр с порами диаметром 0,45 мкм и консервировали добавлением концентрированной азотной кислоты.

Определение содержания анионов в озерных и поровых водах проводили титриметрическим методом ( $\text{HCO}_3^-$ ) и методом капиллярного электрофореза ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ). Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой использовали для определения в воде концентраций катионов ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) и микроэлементов (Si, Al, B, Ba, Sr, P, Li, Cr, Ni, Co, Mo, Fe, Mn, Cu, Zn, As, Sb, Ti) на спектрометре IRIS Advantage (Thermo Jarrell, США). Определения содержаний растворенного неорганического (РНУ) и органического (РОУ) углерода в отфильтрованных пробах воды выполняли с использованием анализатора Multi N/C 2100S (Analytik Jena AG, Германия).

Дуговой атомно-эмиссионный спектральный анализ использовали для определения химических элементов в донных отложениях на автоматизированной установке «Гранд-Поток», предназначенной для возбуждения в электрической дуге атомно-эмиссионных спектров порошковых проб методом просыпки – вдувания [1]. Формы нахождения серы ( $S_{\text{общ}}$  – общая,  $S_{\text{сульфат}}$  – сульфатная (VI) и  $S_{\text{сульфид}}$  – сульфидная (II)) в донных отложениях проводили по стандартной методике согласно [21]. Для определения органического вещества пробы донных отложений подвергались сухому озолению в муфельной печи путем ступенчатого нагревания до 450 °C в течение 4 ч. По разности зольного остатка и сухой пробы вычислялось содержания ОВ. Минеральный состав осадка исследован методом рентгеновской

порошковой дифрактометрии на дифрактометре ДРОН-4, излучение Cu-K $\alpha$ . Сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) применяли для изучения микроморфологии и вещественного состава образцов донных отложений с использованием электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LMU.

Для расчета форм нахождения химических элементов (физико-химическое моделирование) в поровых водах и их минеральных форм применен программный комплекс «Селектор-С» согласно [28]. Основы физико-химического моделирования включают в себя условия равновесия в гетерогенных многокомпонентных системах с ограничениями в виде линейных уравнений баланса масс.

Коэффициенты водной миграции элементов в поровых водах рассчитаны по формуле [10]

$$K_x = m_x \cdot 100 / a n_x,$$

где  $m_x$  – содержание элемента  $x$  в воде, мг/л;  $n_x$  – содержание элемента  $x$  в донном осадке, вес. %;  $a$  – минерализация, мг/л.

Для оценки интенсивности водной миграции используются четыре градации коэффициента водной миграции: 1) очень сильная ( $K_x$  от  $n \cdot 10$  до  $n \cdot 100$ ); 2) сильная ( $n - n \cdot 10$ ); 3) средняя ( $0,1n - n$ ); 4) слабая и очень слабая ( $< 0,01n$ ).

## Результаты исследований

**Химический состав озерных вод.** Озерные воды оз. Пясино отнесены к гидрокарбонатно-сульфатному классу, группе кальция и натрия, оз. Мелкое – к гидрокарбонатному классу, группе кальция (табл. 1). По окислительно-восстановительным условиям озерные воды исследованных озер отнесены к типу окисленных (Eh 187–281 мВ), по щелочно-кислотным условиям – к классу нейтральных (pH 7,6–7,8), по общей минерализации ( $\Sigma = 132\text{--}163$  мг/л) – к семейству ультрапресных вод. Озерные воды оз. Мелкое характеризуются чуть большими содержаниями всех катионов, оз. Пясино – чуть более высокими концентрациями  $\text{Cl}^-$  и  $\text{F}^-$  (см. табл. 1).

Высокие содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  (38 мг/л) в низкоминерализованных озерных водах оз. Пясино



Таблица 1

Основные гидрохимические показатели озерных вод исследованных водоемов

Показатель, мг/л	Оз. Пясино	Оз. Мелкое	Элемент, мкг/л	Оз. Пясино	Оз. Мелкое
pH	7,58	7,82	Al	25,02	1,08
Eh, мВ	+187	+281	B	18,36	5,88
PO <sub>4</sub>	4,5	1,2	Ba	2,97	11,43
PHУ	8,6	4,1	Sr	167,16	214,62
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	67	112	Fe	42,48	13,08
Cl <sup>-</sup>	2,7	1,5	Mn	4,36	0,52
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,18	0,01	Co	0,18	0,24
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<0,25	<0,25	Cu	2,7	11,46
F <sup>-</sup>	0,25	0,07	Zn	46,32	1,44
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,01	0,28	Mo	0,42	35,52
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	37,8	7,5	Li	0,72	0,48
Ca <sup>2+</sup>	15,75	26,4	Ni	15,00	4,44
Mg <sup>2+</sup>	2,84	8,7	Ti	0,18	1,68
Na <sup>+</sup>	4,70	5,4	V	0,63	9,15
K <sup>+</sup>	0,35	0,76	Y	0,07	<0,01
Si <sup>2+</sup>	4,72	3,61	Se	<0,01	7,86
Сумма ионов	132	163	La	<0,01	0,24

связаны с антропогенным загрязнением водоема, что подтверждается и в работах других исследователей [2, 4, 6]. Антропогенная нагрузка на экосистему также выражается и в более высоких (относительно оз. Мелкое) содержаниях в озерных водах PO<sub>4</sub> (4,5 мг/л), PHУ (8,6 мг/л и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,18 мг/л) (см. табл. 1).

Макро- (Si, Al, Fe) и микроэлементы (B, Ba, Sr, Mn, Co, Ni, Li, Cu, Zn, Ti, V, Mo, Y, Zr, Ag, Se, La) являются важнейшими компонентами гидрогеохимического своеобразия лимногеосистем. Основное различие озерных вод: в оз. Пясино более высокие содержания (мкг/л) Al (25), B (18), Fe (42), Mn (4) и особенно Zn (46) и Ni (15), что можно объяснить большей антропогенной нагрузкой на экосистему озера, а в оз. Мелкое более высокие концентрации (мкг/л) Ba (11), Zr (0,4), Ag (0,2), Se (8), La (0,2), Cu (11), Mo (36) и V (9), а также Si и Sr (см. табл. 1).

Стоит отметить, что в поверхностных водах оз. Мелкое содержания Ti выше на порядок (1,68 мкг/л), что отражается и на значениях титанового модуля (ТМ = TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [17] для неконсолированного осадка (НО): в оз. Мелкое 0,193, в оз. Пясино 0,078. Это значительно выше ТМ глинистых отложений и больше характерно для ТМ кремниевых вещества планктона [17].

**Строение донных отложений.** Осадки оз. Пясино неоднородны по вещественному составу и представляют собой гляциальные отложения, верхние 288 см которых сложены серыми илами; ниже (с четко выраженной границей) залегают светло-коричневые илы, которые к нижним интервалам становятся более серыми (рис. 2, а). Верхние 18 см осадка – это сильно обводненные (до 90–95 %) серо-коричневые илы. В инт. 232–248 см отмечены визуально хорошо различимые темно-серые гли-

нистые отложения с черными вкраплениями, представляющие собой небольшие слойки, обогащенные органическим веществом.

Гляциальные отложения оз. Мелкое визуально имеют однородный вещественный состав на всю мощность керна и сложены голубовато-серыми илами (см. рис. 2, б). Верхние 15 см осадка сильно обводненные, ниже по разрезу обводненность донных отложений падает до 85–90 %; в инт. 65–93 см, где залегают очень плотные илы, – до 75–80 %. В инт. 155–179 см обводненность озерных илов вновь возрастает примерно до 85 %. Здесь залегают рыхлые озерные отложения с ржавыми прослоями. Далее вниз по разрезу обводненность донных отложений падает, наблюдаются более плотные голубовато-серые илы.

**Минеральный состав донных отложений.** Главные породообразующие минералы гляциальных отложений исследованных озер Арктики – это хлорит/сметит, пироксен и плагиоклаз. В донных отложениях оз. Пясино установлено очень много хлорит/сметита с малым количеством смектитовых слоев, в существенно меньших количествах – пироксена (авгит-диопсид), плагиоклаза, еще меньше – кварца, слюды (очень неупорядоченной) и цеолита (см. рис. 2, а). С глубиной количество кварца уменьшается до следовых значений. В интервале керна 232–248 см, представленном темными отложениями, отмечены следы кальцита и пирита (см. рис. 2, а). Минеральный состав донных отложений оз. Мелкое однородный по всей глубине разреза. Установлено очень много хлорит/сметита с малым количеством смектитовых слоев, мало плагиоклаза, пироксена (авгит-диопсид), еще меньше кварца и цеолита (рис. 2б). В инт. 120–160 см дон-



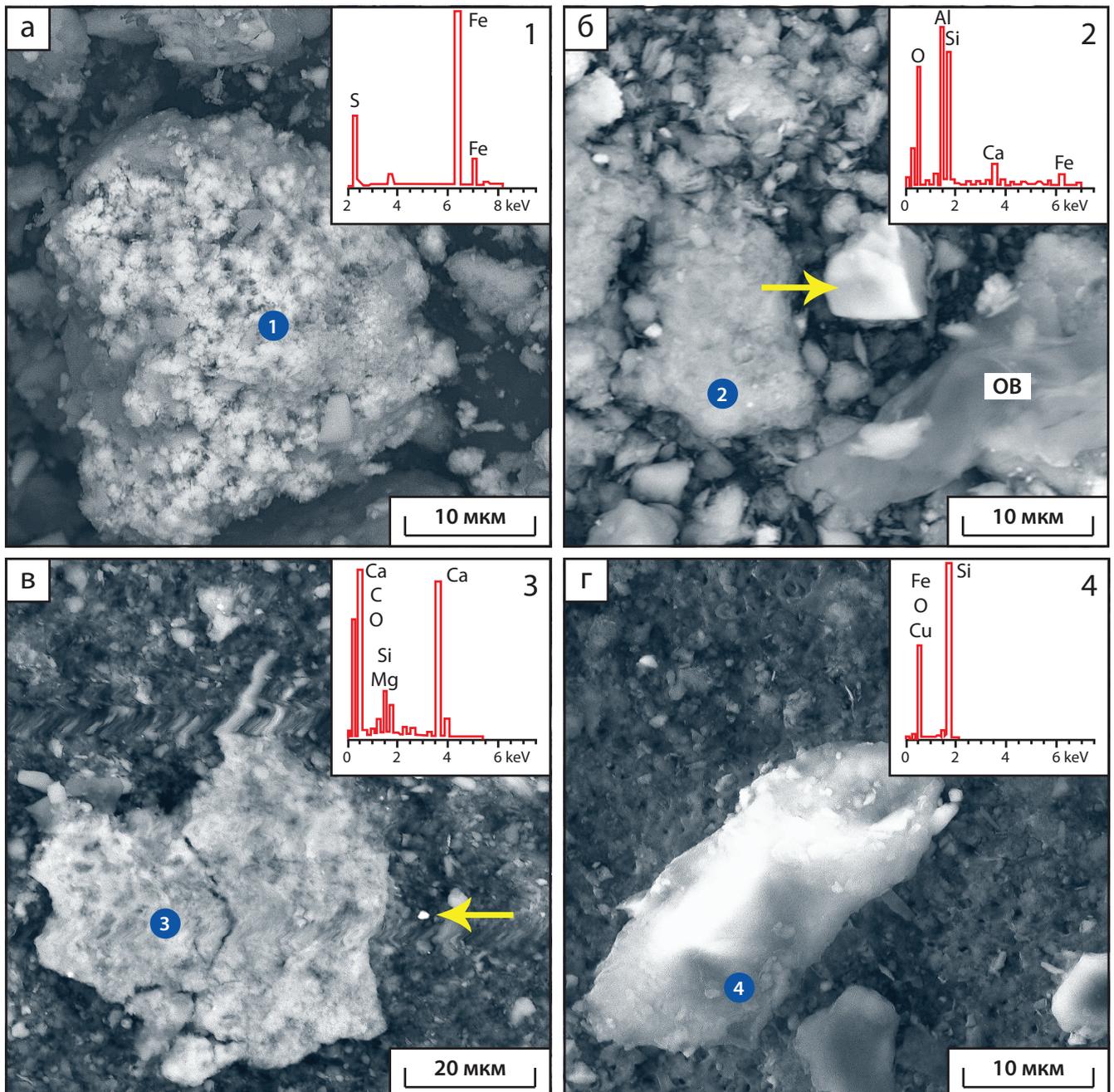
ных отложений оз. Мелкое были обнаружены следы пирита и кальцита.

Электронная сканирующая микроскопия показала, что в составе осадков исследованных озер содержится большое количество различных алюмосиликатов (плагиоклаз, КПШ, амфибол, пироксены, хлорит, кварц). Акцессорные минерал донных отложений – монацит, рутил, ильменит, хлоритоид и турмалин; обнаружены фосфаты кальция, оксиды и гидроксиды железа, марганца. В осадках оз. *Пясино* по данным электронной сканирующей микроскопии выявлены высокие содержания Cu и Ni, присутствие Ta и Zr. В интервале керна 232–

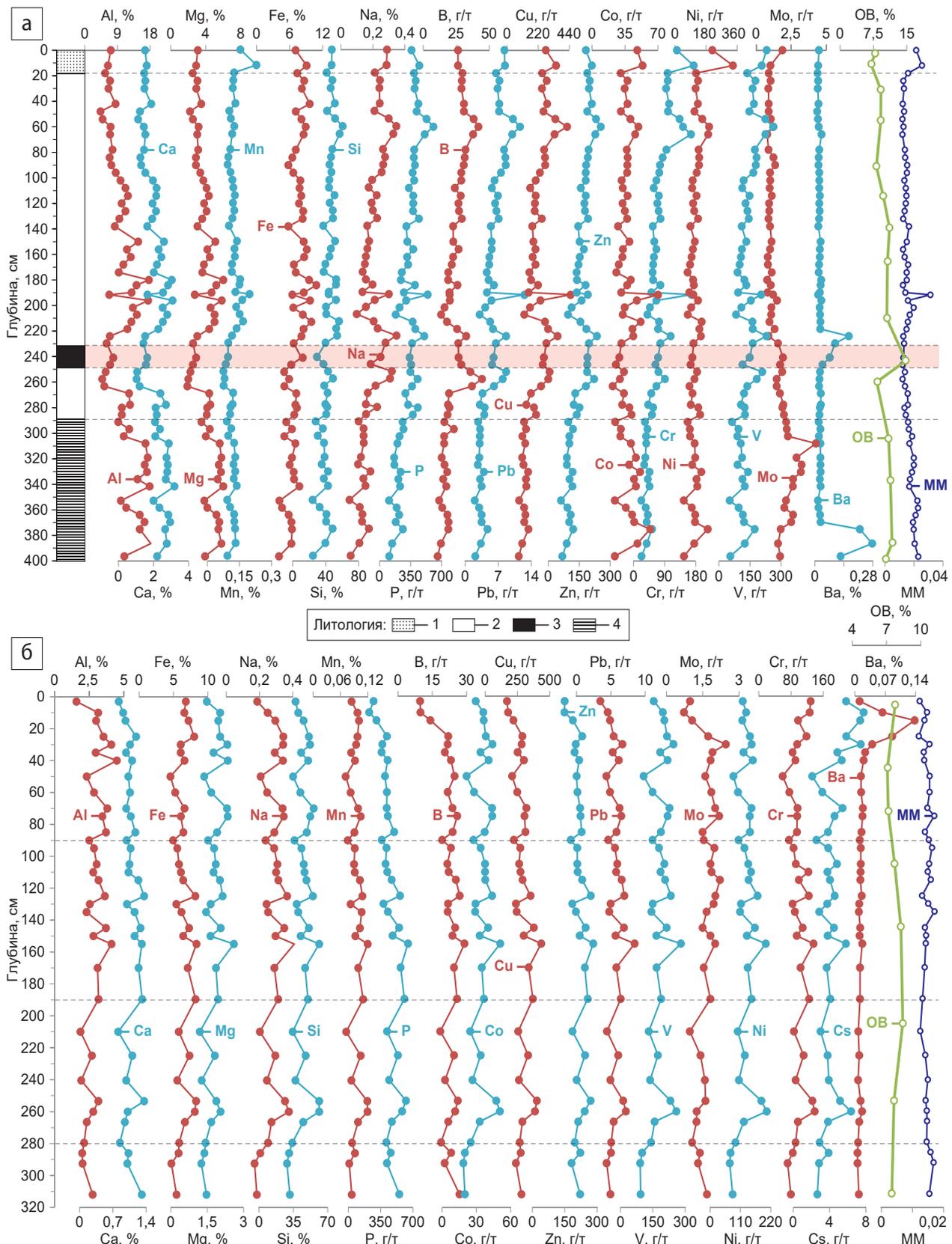
248 см в большом количестве обнаружены как отдельные кристаллы, так и фрамбоиды пирита, каолинит, а также карбонаты (рис. 3, а–в). Также на фильтрах при фильтрации поровых вод осадка оз. *Мелкое* в интервале 100–140 см установлены отдельные кристаллы пирита размером менее 5 мкм, а в верхних интервалах – присутствие аморфного (аутигенного) кремния (см. рис. 3, г).

#### Химический состав донных отложений.

Распределение ОВ по разрезу донных отложений оз. *Пясино* (рис. 4, а) довольно выдержано и составляет 7,5–11,6 %, за исключением инт. 232–248 см – до 14,7 %, а для верхнего интервала осадка (0–10 см)



**Рис. 3.** Микрофотографии и энергодисперсионные спектры аутигенных минералов в донных отложениях (а, б) и на поверхности фильтров (в, г) с размером ячеек 0,45 мкм, которые использовались для фильтрации поровых вод. Оз. *Пясино*: а – пирит в органическом матрице, инт. 234–238 см; б – каолинит-? ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  38,9 %,  $\text{SiO}_2$  45,8 %), инт. 210–220 см (стрелкой показан обломочный (терригенный) оксид железа); в – кальцит, инт. 234–238 см (стрелкой показан кристалл пирита); оз. *Мелкое*: г – аморфный кремний, инт. 20–30 см



**Рис. 4.** Распределение химических элементов, ОБ и марганцевого модуля (ММ) по разрезам донных отложений оз. Пясино (а) и оз. Мелкое (б)

Усл. обозн. см. на рис. 2

характерны самые низкие содержания (7,5 %). Концентрация ОБ в донных отложениях оз. *Мелкое* (см. рис. 4, б) в целом чуть ниже – 7,1–8,4 % (резких изменений не установлено).

Распределение ряда химических элементов по разрезу донных отложений оз. *Пясино* хорошо маркирует смену вещественного состава осадка (см. рис. 4, а). Так, верхние 18 см осадка, представ-

ленные обводненными серо-коричневыми илами, характеризуются ростом содержаний Mn (0,23 %), Ni (336 мг/кг) и Mo (1,87 мг/кг). Довольно существенный рост содержаний Ni в верхних интервалах осадка отражает антропогенное загрязнение озерной экосистемы в XX и XXI вв. Темно-серые глинистые отложения в инт. 232–248 см, обогащенные ОВ, заметно отличаются от основной толщи донных отложений: уменьшаются содержания ряда литофильных элементов (Al 5,7 %, Si 37,3 %, Ca 1,1 %, Mg 2,2 %, Mn 0,08 %), а биофильных – увеличивается (Cu 300 мг/кг, Zn 190 мг/кг), как и Ba (716 мг/кг) и Na (0,32 %). В светло-коричневых илах в инт. 288–354 см повышаются средние концентрации Al (14,8 %), Ca (2,7 %), Mg (5,1 %), Mo (2,4 мг/кг), снижаются – Na (0,1 %), P (188 мг/кг), Zn (97 мг/кг).

Для донных отложений оз. *Мелкое*, имеющих однородный вещественный состав, типично более выдержанное распределение химических элементов по разрезу (см. рис. 4, б): в верхних обводненных интервалах осадка (0–15 см) уменьшаются концентрации Al (1,6 %), Si (37,3 %), Ca (0,82 %), Mg (1,5 %), Na (1,6 %), Mn (0,2 %), Cu (169 мг/кг), Zn (150 мг/кг), Mo (0,97 мг/кг), Ba (107 мг/кг); в инт. 15–30 см отмечается аномальный рост количества Ba (до 1375 мг/кг). Для минеральных ДО характерны довольно низкие содержания Al на уровне 1,6–4,1 % (среднее – 2,9 %); в нижних интервалах осадка (190–300 см) наблюдается незначительное снижение средних содержаний Ca (1 %) и Ni (123 мг/кг).

В целом, в исследованных озерах Арктики отмечаются невысокие значения марганцевого модуля ( $MM = Mn/Fe$ ) и содержания Mn по разрезу, а также относительно равномерное его распределение (см. рис. 4), что характерно для восстановленных терригенных осадков [15].

Довольно высокие содержания Ni, Cu, Zn, Co по всем разрезам исследованных озер – это специфика данного региона. Норильский район представляет собой крупный рудный узел, включающий уникальные сульфидные Cu-Ni месторождения. Известные здесь рудоносные интрузии и связанные с ними Cu-Ni месторождения практически все имели выход на дневную поверхность и были обнаружены в обнажениях [12]. Рост содержаний Ni, Cu, Zn, Co, Cr и Mo для верхних 20 см осадка оз. *Пясина* – это результат антропогенной нагрузки на экосистему озера, по-видимому, загрязнения расположенного поблизости Норильского комбината.

**Формы S.** Осадки исследованных озер характеризуются низким содержанием общей серы (табл. 2), которая представлена в основном окисленными формами S (VI), т. е. сера в составе сульфатов. Только в донных отложениях оз. *Пясина* с глубиной появляется S (II), т. е. ее восстановленные соединения (сера в составе сульфидов Fe, H<sub>2</sub>S и т. д.). В ДО оз. *Мелкое* восстановленные формы S отсутствуют. Все это указывает на малую интенсивность процессов бактериальной сульфат-редукции,

что характерно для большинства пресноводных озер [20, 21]. Только в оз. *Пясина* в интервале 233–244 см (темно-серая глина с черными вкраплениями, богатыми ОВ) восстановленные формы серы начинают доминировать над окисленными, здесь же в поровых водах отмечается резкое падение  $SO_4^{2-}$ .

**Таблица 2**

Распределение форм S (мас.д. %), pH и Eh (мВ) по глубине разрезов отложений

Слой, см	S <sub>общ</sub>	S (VI)	S (II)	Eh	pH
<i>Оз. Пясина</i>					
6	0,031	0,031	0	–94	7,84
48	0,029	0,029	0	–149	8,28
156	0,032	0,031	0,001	–173	8,26
235	0,100	0,030	0,070	–208	8,33
264	0,034	0,030	0,004	–189	8,25
363	0,028	0,028	0	–121	8,43
<i>Оз. Мелкое</i>					
2	0,040	0,040	0	+38	7,41
12	0,041	0,041	0	–65	7,44
32	0,040	0,040	0	–95	7,45
52	0,045	0,045	0	–133	7,53
172	0,030	0,030	0	–167	8,29
232	0,029	0,029	0	–119	8,06

**Химический состав поровых вод.** Концентрация  $HCO_3^-$  в поровых водах уже в верхних интервалах донных отложений исследованных озер *Пясина* и *Мелкое* (рис. 5) возрастает с 67–112 до 199–297 мг/л, увеличиваясь с глубиной до 335–491 мг/л, что указывает на рост минерализации органического вещества вниз по разрезу. Гидрокарбонат-ион является главным анионом поровых вод и составляет в среднем до 86 % от суммы анионов. Средние значения pH вниз по разрезу осадка увеличиваются с 7,6–7,8 до 8,1–8,4 на фоне резкого падения Eh с +327 мВ до –260 мВ. Установлен рост с глубиной содержаний растворенного неорганического углерода (РНУ) и основных ионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ). Отмечается обогащение поровых вод исследованных озер биогенными компонентами ( $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  и РОУ) вследствие микробиологической деструкции органического вещества [3, 5, 18, 20].

Распределение  $SO_4^{2-}$  в поровых водах озер выдержано для верхних интервалов донных отложений: в оз. *Пясина* в среднем 32,5, в оз. *Мелкое* 7,3 мг/л соответственно (см. рис. 5), что сопоставимо с содержанием сульфатов-ионов в озерной воде (37,8 и 7,5 мг/л соответственно). Глубже вследствие процессов бактериальной сульфат-редукции, содержаний  $SO_4^{2-}$  плавное снижаются до 20,8 (оз. *Пясина*) и 5,2 мг/л (оз. *Мелкое*). Низкая активность процессов бактериальной сульфат-редукции не приводит к падению концентраций РОУ в поровых водах, за исключением темного прослоя осадков в оз. *Пясина* в инт. 232–248 см, где отмечается и существенное

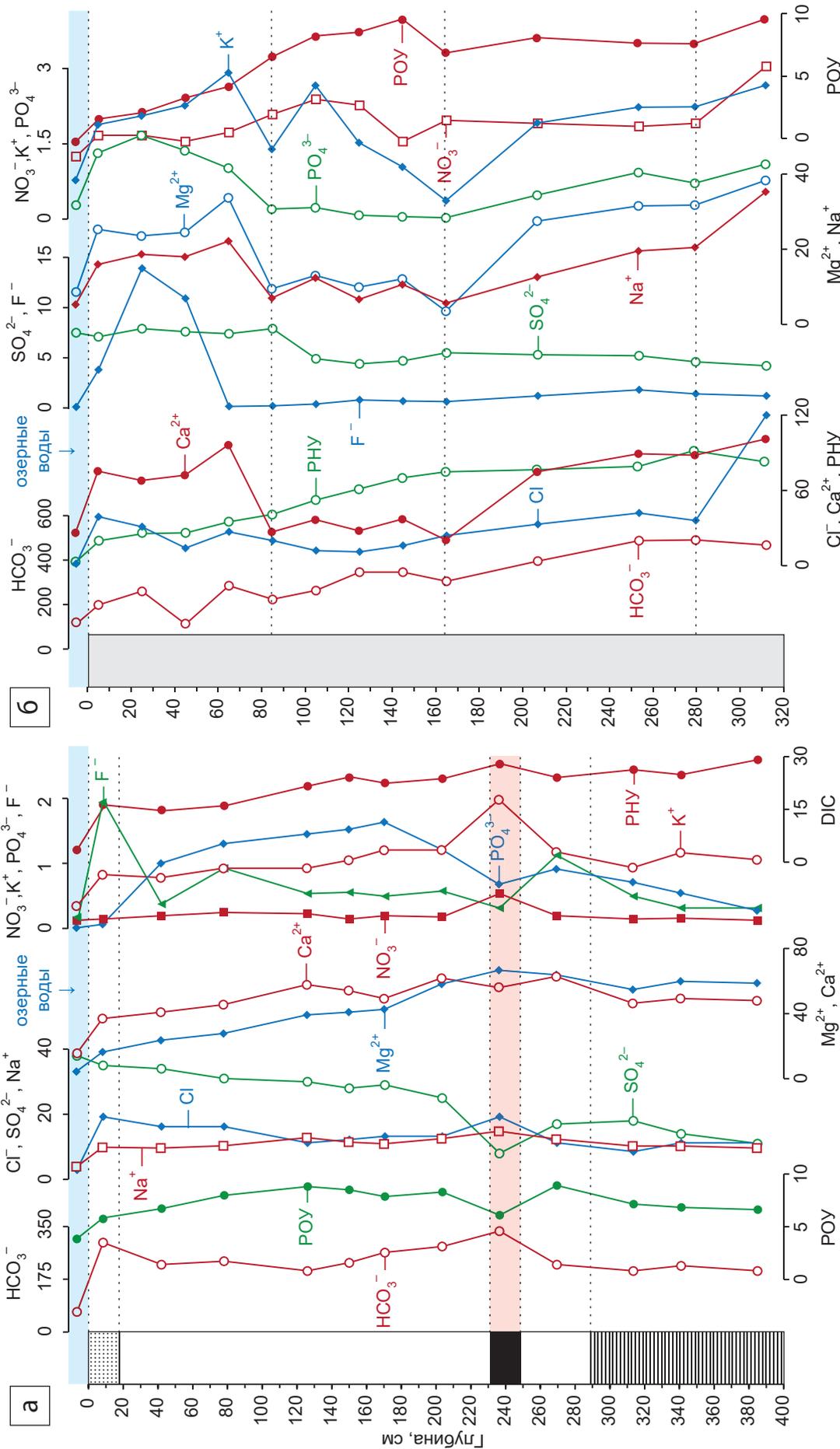


Рис. 5. Распределение растворенного органического углерода (РОУ), растворенного неорганического углерода (РНУ) и основных ионов (мг/л) в озерных и поровых водах донных отложений оз. Пясино (а) и оз. Мелкое (б)  
Усл. обозн. см. на рис. 2

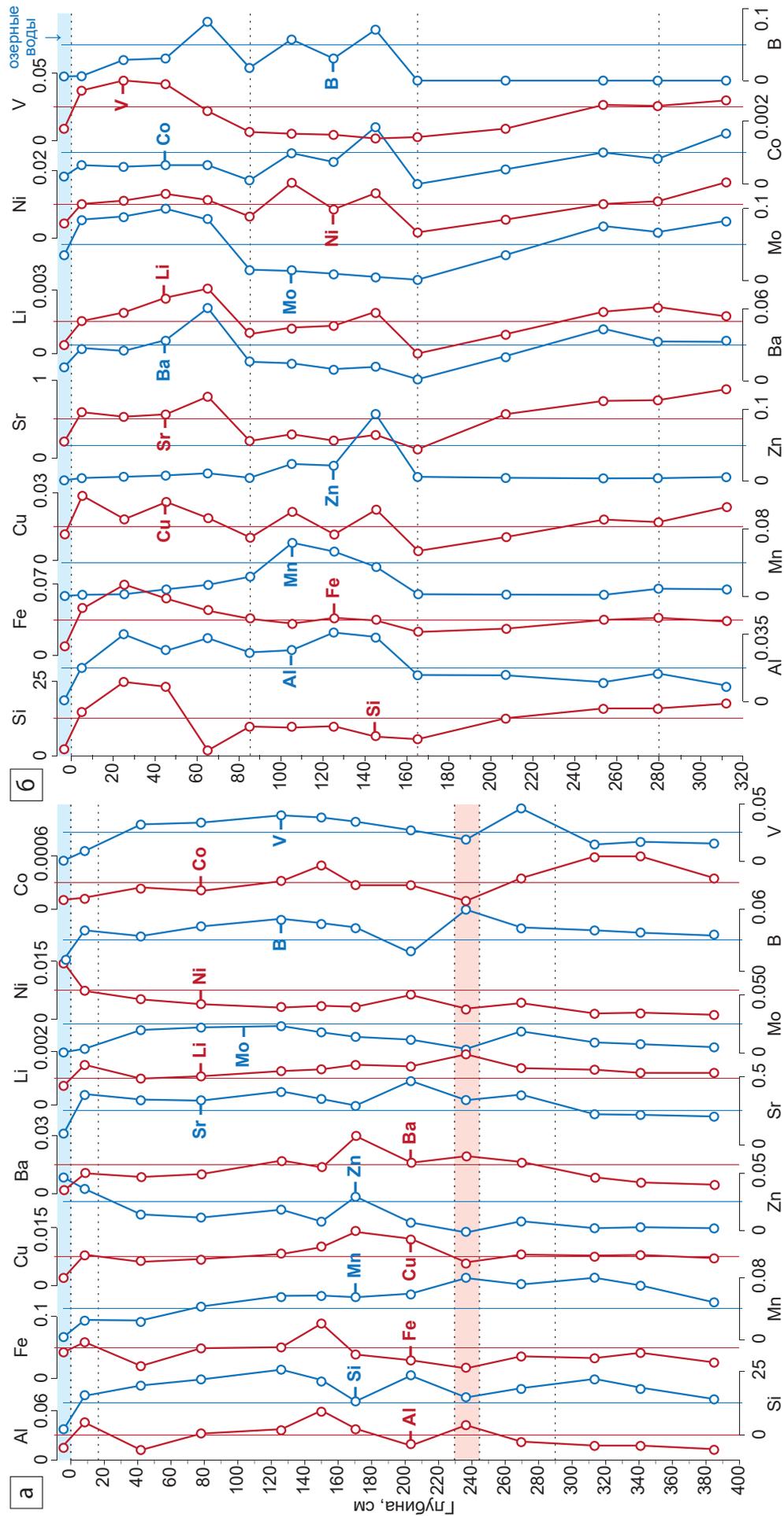


Рис. 6. Распределение химических элементов (мг/л) в озерных и поровых водах донных отложений оз. Пясино (а) и оз. Мелкое (б)



снижение РОУ (с 7,9 до 5,8 мг/л), хотя в целом наблюдается тренд на его РОУ с глубиной.

Установлено увеличение концентраций в поровых водах большинства химических элементов в сравнении с придонной водой, что отражает диагенетические преобразования в донных отложениях (рис. 6).

Интервал 232–248 см оз. *Пясино* характеризуется ростом содержаний Al, Mn, Li, B и снижением концентраций Si, Fe, V, Cu, Sr, Mo и Ni. В озерных водах отмечаются самые высокие его содержания Ni (0,0150 мг/л), которые в поровых водах снижаются до 0,0015–0,0055 мг/л, увеличиваясь до 0,0073 мг/л только в инт. 200–210 см (см. рис. 6, а). Самые высокие концентрации Zn установлены в озерных водах (0,046 мг/л), в поровых водах они уменьшаются с глубиной от 0,036 мг/л в верхних 10 см осадка до 0,030–0,002 мг/л вниз по разрезу. Содержания Mn с глубиной увеличиваются от 0,0242 до 0,0736 мг/л, что характерно для восстановленных осадков.

По характеру распределения химических элементов в поровых водах оз. *Мелкое* можно выделить два интервала, в которых их концентрации изменяются (см. рис. 6, б). Интервал 5–85 см характеризуется заметным ростом концентраций Si, Mo, V; в инт. 85–165 см содержания Mn, Ni, Co увеличиваются, а Sr, Ba, Mo, V – снижаются. В инт. 165–320 см уменьшаются содержания Al, Zn, B; концентрации Fe повышаются к верхним горизонтам отложений от 0,0248 до 0,0635 мг/л, что в 6 раз выше, чем в озерных водах (0,0131 мг/л). Для Al характерен заметный рост содержаний в инт. 30–165 см до 0,0244–0,0322 мг/л.

### Обсуждение результатов

Основные изменения минеральной составляющей осадков прямо или косвенно связаны с органическим веществом и происходят за счет энергии химических (главным образом микробиологических) процессов деструкции и минерализации органического вещества осадка. Ведущая роль ОВ в процессах раннего восстановительного диагенеза хорошо показана для океанических и морских осадков [5, 18, 19, 23, 27].

**Значения Eh, pH.** В осадках исследованных озер установлен восстановительный тип диагенеза, причем наличие даже незначительного количества ОВ способствует образованию восстановительной обстановки уже в верхних интервалах донных отложений (0–12 см), где значения Eh от –65 до –94 мВ (табл. 3). В ДО хорошо выраженный окисленный слой отсутствует (за исключением первых 2 см осадка оз. *Мелкое*), все геохимические процессы в осадках проходят в анаэробных условиях. С глубиной значения Eh резко уменьшаются от –119 до –208 мВ.

Таким образом, основным показателем изменения физико-химических свойств поровых вод является снижение Eh по разрезу донных отложений

до отрицательных значений вследствие деструкции ОВ, бактериального потребления кислорода и образования  $H_2S$  в результате процессов сульфат-редукции. Повышение pH в донных отложениях в более глубоких интервалах связано с ростом концентрации по глубине разреза гидрокарбонат-ионов, РНУ и образованием  $H_2S$ . Защелачивание среды может происходить и в результате процессов метаногенеза, восстановления нитрит- и нитрат-ионов, образования  $NH_4^+$  [3, 20, 21]. Таким образом, сульфат-редукция приводит к увеличению значений pH, так как вследствие этого уменьшается содержание аниона сильной кислоты ( $SO_4^{2-}$ ) и возрастает концентрация  $HCO_3^-$ , что способствует выпадению  $CaCO_3$  и локальному уменьшению  $Ca^{2+}$  в поровой воде.

**Анионы.** Установлено, что в осадках исследованных озер процессы бактериальной сульфат-редукции идут достаточно вяло: концентрация  $SO_4^{2-}$  в поровых водах практически не изменяется с глубиной и сопоставима с таковой в озерных водах, которые являются основным источником сульфат-ионов для поровых. На незначительную интенсивность сульфат-редукции указывает и почти полное отсутствие восстановленных форм серы в осадках (см. табл. 2). Значимое снижение сульфат-ионов в осадке оз. *Пясино* отмечается только в черном прослое из инт. 232–248 см, а в осадке оз. *Мелкое* – с глубины 84 см. Выдержанные концентрации сульфат-иона в поровых водах верхних сильнообводненных (влажность до 90–95 %) интервалов могут быть объяснены постоянным поступлением  $SO_4^{2-}$  в осадок из озерных вод. Снижение концентраций  $SO_4^{2-}$  в поровых водах оз. *Мелкое* установлено в более глубоких горизонтах, хотя процессы сульфат-редукции, по-видимому, начинаются уже в самых верхних интервалах. На это указывают и обнаруженные методом сканирующей электронной микроскопии одиночные кристаллы пирита на фильтрах, через которые фильтровали поровые воды.

На проходящие процессы бактериальной сульфат-редукции вследствие деструкции ОВ во всех исследованных озерах указывает рост отношения  $HCO_3^-/SO_4^{2-}$  (см. табл. 3). Однако в целом в пресноводных озерах Арктики бактериальная сульфат-редукция идет менее интенсивно, чем в исследованных нами озерах Западной Сибири и Прибайкалья [20, 21].

Можно заключить, что для пресноводных озер бактериальная сульфат-редукция идет менее интенсивно, чем в морях и океанах, поскольку такие пресноводные озера содержат мало  $SO_4^{2-}$ . Известно [3, 22], что для осадков пресноводных озер характерны процессы образования карбонатов, в то время как образование пирита часто менее интенсивно. Таким образом, основной особенностью пресноводного диагенеза континентальных водоемов является малое количество  $SO_4^{2-}$ , что обуславливает выделение такого диагенеза в особый бессульфатный диагенез. Помимо этого, низкая интенсивность процессов



Таблица 3

Отношение между основными ионами в озерных (0 см) и поровых водах

Горизонт, см	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> /Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>
<i>Оз. Пясино</i>				
0	5,55	3,35	1,76	1,74
8	4,21	2,22	8,49	0,88
42	4,79	1,71	6,59	1,49
78	4,94	1,62	7,58	1,75
126	4,91	1,47	6,77	3,58
150	5,23	1,32	8,21	3,43
171	5,01	1,15	9,10	3,30
204	5,40	1,06	11,36	4,49
237	5,21	1,07	41,88	3,52
270	5,56	0,98	13,18	5,83
314	5,05	0,84	11,28	6,63
341	5,38	0,82	15,71	5,46
385	5,60	0,81	18,45	5,36
<i>Оз. Мелкое</i>				
0	3,05	4,89	14,93	3,60
5	2,99	4,70	28,03	0,41
25	2,89	3,63	32,91	0,61
45	2,95	3,99	14,74	1,29
65	2,86	4,33	38,51	0,83
85	2,85	3,78	28,35	0,36
105	2,83	2,94	53,88	1,04
125	2,83	4,12	78,64	0,62
145	3,08	3,47	73,62	0,67
165	5,86	3,55	55,45	0,24
254	2,84	4,55	93,85	0,47
280	2,78	4,29	106,74	0,57
312	2,64	2,86	111,43	0,30

бактериальной сульфат-редукции в исследованных осадках озер Арктики частично связана и с низким содержанием ОВ в донных отложениях.

Довольно выдержанные концентрации в поровых водах Cl<sup>-</sup> и F<sup>-</sup> (см. рис. 5) косвенно указывают на практически неизменный состав озерных вод за весь период голоцена. Исключение составляет только распределение в поровых водах F<sup>-</sup> в верхних 10 см для оз. Пясино и 40 см для оз. Мелкое, для которых характерно резкое увеличение его концентраций. Для первого это, видимо, связано со сменой вещественного состава осадка. Определить причину для оз. Мелкое можно только после дальнейших исследований, хотя, вероятно, она та же.

**Катионы.** С глубиной в поровых водах донных отложений исследованных озер изменяются отношения основных катионов (см. табл. 3), что обусловлено процессами выщелачивания и катионного обмена в системе поровая вода – осадок.

Рост минерализации поровых вод с глубиной, а также изменение отношений между основными катионами и анионами отражает диагенетические преобразования ДО. Рост минерализации поровых вод определяется прежде всего увеличением концентраций с глубиной ионных пар Ca<sup>2+</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Увеличение Ca<sup>2+</sup> связано с выщелачиванием данного иона из поглощающего комплекса осадка, повторным растворением карбонатных минералов, а рост концентраций HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> определяется идущими параллельно процессами минерализации органического вещества. Данная пара ионов имеет высокие значения коэффициента корреляции (r) – на уровне 0,7 (табл. 4). Таким образом, деструкция ОВ приводит к увеличению содержания HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и, как следствие, к метаморфизации поровых вод в диагенезе.

Установлено, что с глубиной меняется соотношение между основными катионами (Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> и Ca<sup>2+</sup>/Na<sup>+</sup>) поровой воды (см. табл. 3), что обусловлено процессами выщелачивания и катионного обмена в системе поровая вода – осадок. Установлена тенденция повышения концентраций ионов Ca<sup>2+</sup> (несмотря на локальное снижение его в отдельных интервалах) вниз по разрезам донных отложений вследствие вытеснения его из поглощающего комплекса осадка. При выщелачивании минеральной части осадка в диагенезе в поровые воды извлекаются щелочные и щелочноземельные металлы, но вследствие катионного обмена ионы Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> могут частично переходить в поглощающий комплекс осадка, вытесняя из него Ca<sup>2+</sup>. Процессы выщелачивания и катионного обмена подтверждаются двукратным увеличением коэффициента водной миграции (K<sub>x</sub>) для Ca на фоне его уменьшения для Mg и особенно для Na, K (табл. 5).

**Биогенные элементы.** Обогащение поровых вод поверхностных горизонтов донных отложений исследуемых озер биогенными элементами NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (для оз. Пясино не отмечается), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и POУ (см. рис. 5) – следствие микробиологической деструкции ОВ, в результате которой в поровый раствор переходят наиболее лабильные компоненты ОВ, а в осадках формируются восстановительные условия. Рост концентраций POУ с углублением в толщу осадков свидетельствует о продолжающейся минерализации ОВ в диагенезе. Увеличение концентраций NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в поровых водах оз. Мелкое может

Таблица 4

Значимые коэффициенты корреляции пар ионов, растворенных органического (POУ) и неорганического (PHУ) углерода в поровых водах

Озеро	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> –SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup> –HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> –Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> –POУ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> –POУ	POУ–PHУ	Fe–SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe–POУ	Mn–POУ
Пясино	-0,70	0,74	0,94	0,17	-0,14	0,71	0,65	-0,25	0,65
Мелкое	-0,85	0,72	0,99	0,69	-0,85	0,86	0,67	-0,75	0,68



Таблица 5

Коэффициенты водной миграции химических элементов в озерных (0 см) и поровых водах из разных интервалов донных отложений исследованных озер

Элемент	Оз. Пясино					Оз. Мелкое			
	0	36–48	144–156	264–275	374–385	0 см	20–30	125–127	300–320
Ca	3,93	6,23	7,59	8,45	8,38	6,10	16,39	17,79	21,87
Mg	0,81	0,68	0,50	0,43	0,46	4,07	3,31	1,02	2,83
Na	27,7	16,3	15,1	13,8	14,0	15,8	5,7	8,3	9,4
K	1,91	0,89	0,23	0,52	0,30	1,80	0,22	0,44	0,29
Al	0,0015	0,007	0,010	0,007	0,003	0,0025	0,0026	0,0030	0,0008
Fe	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,0015	0,0023	0,0010	0,0018
Mn	0,037	0,051	0,101	0,156	0,098	0	0	0	0
B	0,0003	0,0003	0,0005	0,0004	0,0008	0,0002	0,0004	0,0006	0
Si	0,070	0,095	0,125	0,143	0,186	0,091	0,129	0,051	0,154
Mo	0,0003	0,0004	0,0042	0,0025	0,0009	0,0206	0,0147	0,0011	0,0145

отражать большую численность микроорганизмов цикла азота. Одна из причин – окисление аммиака бактериями-нитрификаторами. Однако невысокое содержание ОВ в отложениях исследованных озер не приводит к существенному росту биогенных элементов в поровых водах (за исключением  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Рост концентрации фосфат-ионов  $\text{PO}_4^{3-}$  в поровых водах связан, помимо распада фосфорсодержащего ОВ, с разрушением Fe-P комплексов осадка в диагенезе. Согласно [18] по мере диагенеза и деструкции ОВ  $\text{P}_{\text{орг}}$  покидает осадок, поступая в поровую воду.

Увеличение концентраций Si в поровых водах в сравнении с озерными (см. рис. 6), по-видимому, связано и с разрушением створок диатомовых водорослей (аморфная форма кремнезема в диатомите легко растворима), и с выщелачиванием Si из твердой фазы осадка. Так, в фильтрах, используемых для фильтрации озерных вод, были обнаружены створки диатомовых водорослей, которые не встречались в донных отложениях (за исключением верхних 20 см осадка). Рост коэффициента водной миграции кремнезема в поровых водах в сравнении с озерными подтверждает предположение о выщелачивании кремния из твердой фазы осадка (см. табл. 5), а локальное уменьшение содержания кремния может быть обусловлено выпадением  $\text{SiO}_2$  в осадок из порового раствора в процессе диагенеза, что косвенно отражает присутствие на фильтрах аморфного аутигенного кремния, обнаруженного методом сканирующей микроскопии (см. рис. 3, г).

**Fe, Mn и микроэлементы.** Изменение концентраций и накопление в поровых водах элементов с переменной валентностью (главным образом Fe и Mn) связано прежде всего со сменой редокса в процессе диагенеза, что приводит к восстановлению окисленных формы Fe (III) и Mn (IV) до подвижных форм Fe (II) и Mn (II) и их дальнейшей миграции в поровую воду из твердой фазы осадка. Однако общее содержание восстановленных форм Mn в поровых водах недостаточно велико для ко-

личественного перехода в аутигенные минералы, главным из которых в восстановительных условиях является родохрозит. Это приводит к увеличению с глубиной катиона  $\text{Mn}^{2+}$  в поровых водах оз. Пясино (см. рис. 6, а), что указывает на рост восстановительных условий среды в более глубоких интервалах донных отложений. Для поровых вод оз. Мелкое, напротив, характерно локальное увеличение содержания  $\text{Mn}^{2+}$  в инт. 85–145 см. В целом значительный рост концентраций Mn в поровых водах осадка свидетельствует о высокой подвижности данного элемента в диагенезе [15].

По-видимому, низкие содержания ОВ в осадках не приводят к существенному накоплению Fe в поровых водах (особенно в оз. Пясино), при этом его локальное снижение может быть связано с образованием пирита. Нами было показано [20, 21], что в осадках с высоким содержанием ОВ реакционноспособные формы железа могут переходить в раствор за счет образования органических комплексных соединений или неорганических бикарбонатов Fe (II). При этом часть ОВ идет на восстановление Fe и Mn. Накопление  $\text{Fe}^{2+}$  в поровых водах верхних 40 см осадка оз. Мелкое можно объяснить тем, что согласно [3, 22] процессы восстановления Fe (III) твердой фазы осадков в данном случае опережают процесс формирования новых минеральных форм двухвалентного железа (прежде всего сульфидов Fe).

В восстановительной обстановке создаются условия для накопления в поровых водах верхних горизонтов осадков элементов, обладающих химическим сродством с серой – Mo и Cu (см. рис. 6). Локальное снижение концентраций в поровых водах Cu, Zn, Ni, Mo, Co может быть следствием образования сульфидов железа, которые в значительной мере концентрируют данную группу микроэлементов. Особенно это хорошо видно в инт. 232–248 см в разрезе отложений оз. Пясино, где точно установлено образование аутигенных фрамбонидов пирита (см. рис. 3, г). Кроме того, по данным СЭМ установ-



лено обогащение отдельных интервалов отложений изученных озер Ni, Cu и Zn. Можно предположить, что на геохимию и распределение Cu, Zn, Ni, Mo, Co по разрезам донных отложений влияют смена окислительно-восстановительных условий между озерной водой и твердой фазой, наличие сульфат-редуцирующих процессов и процессов сульфидообразования. Эти условия приводят к миграции элементов из озерной наддонной воды в поровую воду осадков и к возможному связыванию их в виде сульфидов, предположительно с включением в состав аутигенного пирита.

**Аутигенное минералообразование по данным физико-химического моделирования.** Изменение химического состава поровых вод в диагенезе приводит к формированию в донных отложениях ряда аутигенных минералов – карбонатов (прежде всего кальцита) и сульфидов железа (см. рис. 2, 3). Данные рентгеноструктурного анализа и электронной сканирующей микроскопии показали, что в озерных отложениях основной минеральной разновидностью сульфидов железа является пирит, представленный как отдельными кристаллами, так и фрамбоидами. Данные физико-химического моделирования (табл. 6), а также формы серы (см. табл. 2) подтвердили, что сульфиды железа, обнаруженные в материале донных отложений, имеют аутигенную (диагенетическую) природу и сформировались в процессе жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

Физико-химическое моделирование показало, что в инт. 232–248 см осадков оз. Пясино, содержащем больше всего органического вещества, создаются оптимальные условия для образования диагенетического кальцита и пирита (см. табл. 6). На это указывают, помимо равновесных минеральных фаз, рост  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Fe}^{2+}$  в поровых водах. Результаты моделирования подкрепляются обнаруженными только в этом интервале восстановленными формами серы S(II) – серой в составе сульфидов Fe и  $\text{H}_2\text{S}$ . Таким образом, более высокое содержание ОВ в указанном интервале приводит к существенному изменению состава поровых вод осадка и образованию новых минеральных ассоциаций.

Результаты физико-химического моделирования также показали, что в процессе диагенеза восстановленных гляциальных отложений озер Арктики возможно образование глинистых минералов, например каолинита. Наиболее благоприятен для этого интервал 232–248 см осадка в оз. Пясино (см. табл. 6). В процессе диагенеза глинистые минералы, преимущественно монтмориллонитового состава, переходят в смешанослойные монтмориллонит-гидрослюдистые образования, хлорит, каолинит [25]. Методом СЭМ в интервале 232–248 см осадка оз. Пясино установлено присутствие каолинита, представленного либо агрегатами хлопьевидных частиц, имеющих неплотную структуру, либо сгустками различной степени уплотнения (см. рис. 3, б).

Таблица 6

Долевое распределение (%) химических форм элементов в поровых водах и образующиеся равновесные минеральные фазы (г) в донных отложениях оз. Пясино по данным физико-химического моделирования

Форма элемента, минерал	Поровые воды	
	60–70 см	235–240 см
C		
$\text{H}_2\text{CO}_3^0$	49,41	11,81
$\text{HCO}_3^-$	34,63	84,22
$\text{CO}_2^0$	15,96	3,83
$\text{CO}_3^{2-}$	0,01	0,15
Fe		
$\text{Fe}_2^+$	88,56	90,21
$\text{Fe}(\text{OH})_2^+$	11,44	1,06
$\text{Fe}(\text{OH})_3^0$	0	0,05
$\text{FeHCO}_3^+$	0	8,68
Mn		
$\text{Mn}_2^+$	96,90	99,25
$\text{MnSO}_4^0$	3,07	0,74
$\text{MnHCO}_3^+$	0,04	0,01
Минеральные фазы		
Каолинит	$1,67 \cdot 10^{-4}$	$20,46 \cdot 10^{-4}$
Вивианит	$0,01 \cdot 10^{-4}$	$0,88 \cdot 10^{-4}$
Кальцит	0	$912,66 \cdot 10^{-4}$
Пирит	0	$1,20 \cdot 10^{-4}$

Таким образом, можно заключить, что основным источником энергии для диагенетических процессов преобразования осадка и образования аутигенных минералов служит органическое вещество. Эта закономерность выявлена также для восстановленных донных отложений морей и океанов [19, 23, 27].

## Выводы

1. Установлена метаморфизация поровых вод донных отложений исследованных озер в процессе раннего диагенеза. С глубиной наблюдается рост минерализации поровых вод, увеличение концентраций  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ . Увеличение концентраций в поровых водах Sr, Ba, B, Cu, Zn, Al, V, B, Mo, Ni, Li, Co в сравнении с озерными является отражением диагенетических преобразований, протекающих в донных отложениях.

2. В озерах Арктики бактериальная сульфат-редукция идет менее интенсивно, чем в большинстве пресноводных озер умеренного пояса, поскольку в арктических водоемах низки концентрации как  $\text{SO}_4^{2-}$ , так и ОВ.

3. Увеличение концентраций биогенных компонентов Si,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и РОУ в поровых водах донных отложений в сравнении с озерными – следствие деградации ОВ, в результате которой в поровые воды переходят наиболее подвижные и лабильные компоненты ОВ. Рост концентраций РОУ с углублением



в толщу осадков свидетельствует о продолжающейся минерализации ОВ.

4. В диагенезе при смене окислительно-восстановительных условий в процессе минерализации органического вещества изменяется редокс поровых вод ( $E_h < 0$ ), что влияет на распределение химических элементов, имеющих переменную валентность, в первую очередь Fe и Mn. Более высокие содержания Zn и Ni в поровых водах оз. Пясино связаны с антропогенным загрязнением водоема.

5. Активное осаждение диагенетических минералов (кальцита и пирита) установлено только в донных отложениях оз. Пясино в инт. 232–248 см, содержащем больше всего ОВ, так как именно оно служит основным источником энергии для диагенетических процессов преобразования осадка.

Авторы выражают искреннюю благодарность д. г.-м. н. Я. Э. Юдовичу за ценные замечания и предложения.

Научные исследования проведены в рамках «Большой норильской экспедиции 2020». Экспедиционная часть работ реализована при поддержке АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания». Аналитическая часть исследования выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием для многоэлементных и изотопных исследований (ЦКП МИИ СО РАН) Института геологии и минералогии СО РАН по государственному заданию ИГМ СО РАН. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-05-00403 А и № 21-55-53037 ГФЕН<sub>а</sub>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аношин Г. Н., Заякина С. Б. Современный атомно-эмиссионный спектральный анализ в геологии и геохимии: учебное пособие. – Новосибирск: НГУ, ИГМ СО РАН, 2011. – 200 с.

2. Базова М. М., Кошевой Д. В. Оценка современного состояния качества вод Норильского промышленного района // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 3 (27). – С. 49–60.

3. Гранина Л. З. Ранний диагенез донных осадков озера Байкал. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. – 156 с.

4. Гурский Ю. Н. Анализ экологических проблем Российского Севера на примере комплексного геолого-геохимического изучения Норило-Пясинской водной системы // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В. А., Усова М. А., Урванцева Н. Н. до наших дней. – Томск, 2013. – С. 479–482.

5. Гурский Ю. Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т. 2. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского, Каспийского, Белого, Балтийского морей. – М.: ГЕОС, 2003. – 332 с.

6. Гурский Ю. Н. Эколого-геохимическое изучение Норило-Пясинской водной системы // Морской

перигляциал и оледенение Баренцево-Карского шельфа в плейстоцене: Тез. докл. междунар. конф. в Мурманске. – Апатиты: КНЦ РАН, 1998. – С. 29–32.

7. Иванов В. В., Румянцева Е. В. Многолетняя изменчивость годового стока воды и химических веществ Норило-Пясинской водной системы в условиях антропогенного воздействия // Вода: химия и экология. – 2012. – № 12. – С. 23–28.

8. О возрасте и строении краевых ледниковых образований у северного подножья плато Путорана / Л. Л. Исаева, Н. В. Кинд, М. А. Крауш, Л. Д. Сулержицкий // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 1976. – № 45. – С. 117–123.

9. Пармузин Ю. П., Кириллов М. В., Щербаков Ю. А. Физико-географическое районирование Красноярского края // Материалы по физико-географическому районированию СССР (Сибирь и Дальний Восток). – М.: МГУ, 1964. – С. 5–70.

10. Перельман А. И. Геохимия природных вод. – М.: Наука, 1982. – 154 с.

11. Румянцева Е. В. Анализ многолетней изменчивости водных ресурсов Норило-Пясинской озерно-речной системы в условиях антропогенного воздействия: автореф. дис. ... к. геогр. н. – СПб., 2012. – 24 с.

12. Состав и концентрация углеводородов донных отложений в зоне разлива дизельного топлива ТЭЦ-3 АО «НТЭК» (г. Норильск, Арктическая Сибирь) / О. П. Таран, А. М. Скрипников, В. А. Ионин и др. // Сибирский экологический журнал. – 2022. – № 4. – С. 423–449.

13. Старичков Е. М. К геохимии донных отложений озера Пясино (Норильский район) // Зап. горн. ин-та. – 2002. – № 150(2). – С. 19–22.

14. Стрелков С. А. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1965. – 347 с.

15. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия марганца. – Сыктывкар: Геопринт, 2014. – 538 с.

16. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Российские геологи рассказывают о себе. Тексты с комментариями. Кн. 4, доп. – Сыктывкар: Геопринт, 2016. – 568 с.

17. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Рыбина Н. В. Геохимия титана. – Сыктывкар: Геопринт, 2018. – 436 с.

18. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Рыбина Н. В. Геохимия фосфора. – Сыктывкар: Геопринт, 2020. – 512 с.

19. Biogeochemical processes of carbon and sulfur cycles in sediments of the outer shelf of the Black Sea (Russian Sector) / A. Yu. Lein, I. I. Rusanov, E. E. Zakharova, et al. // Doklady Earth Sciences. – 2010. – No. 432. – P. 687–689.

20. Diagenetic transformation of organic matter in sapropel sediments of small lakes (southern West Siberia and eastern Transbaikalia) / G. A. Leonova, A. E. Maltsev, V. N. Melenevsky, et al. // Quaternary International. – 2019. – Vol. 524. – P. 40–47.

21. Geochemistry of Diagenesis of Organogenic Sediments: An Example of Small Lakes in Southern West Siberia and Western Baikal Area / G. A. Leonova,



A. E. Maltsev, V. N. Melenevskii, et al. // *Geochemistry*. – 2018. – No. 56 (4). – P. 344–362.

22. **Early** diagenetic influences on iron transformations in a freshwater lake sediment / P. Wersin, P. Höhener, R. Giovanoli, W. Stumm // *Chemical Geology*. – 1991. – No. 90 (3–4). – P. 233–252.

23. **Early** diagenetic processes in coastal marine sediments disturbed by a catastrophic sedimentation event / B. Deflandre, A. Mucci, J.-P. Gagné, et al. // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 2002. – No. 66 (14). – P. 2547–2558.

24. **Emerson S., Hedges J.** Sediment Diagenesis and Benthic Flux // *Treatise on Geochemistry*. – 2003. – Vol. 6. – P. 293–319.

25. **Keller W. D.** Diagenesis in Clay Minerals – A Review // *Clays and Clay Minerals*. – 1962. – Vol. 11. – P. 136–157.

26. **Multiple** sulfur isotope constraints on sulfate-driven anaerobic oxidation of methane: Evidence from authigenic pyrite in seepage areas of the South China Sea / Z. Lin, X. Sun, H. Straussey, et al. // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 2017. – Vol. 211. – P. 153–173.

27. **Organic** matter diagenesis in shallow water carbonate sediments / A. E. Ingalls, R. C. Aller, C. Lee, S. G. Wakeham // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 2004. – No. 68 (21). – P. 4363–4379.

28. **The convex** programming minimization of five thermodynamic potentials other than Gibbs energy in geochemical modeling / I. K. Karpov, K. V. Chudnenko, D. A. Kulik, V. A. Bychinskii // *American Journal of Science*. – 2002. – No. 302 (4). – P. 281–312.

## REFERENCES

1. Anoshin G.N., Zayakina S.B. *Sovremennyy atomno-emissionnyy spektralnyy analiz v geologii i geokhimi: uchebnoye posobiye* [Modern atomic emission spectral analysis in geology and geochemistry: learning guide]. Novosibirsk, NSU, IGM SB RAS Publ., 2011. 200 p. (In Russ.).

2. Bazova M.M., Koshevoy D.V. [The assessment of the current state of water quality in the Norilsk industrial region]. *Arktika: ekologiya i ekonomika – Arctic-Ecology and Economy*, 2017, no. 3 (27), pp. 49–60. (In Russ.).

3. Granina L.Z. *Ranniy diagenез donnykh osadkov ozera Baykal* [Early diagenesis of bottom sediments of Lake Baikal]. Novosibirsk, Geo Publ., 2008. 156 p. (In Russ.).

4. Gurskiy Yu.N. [Analysis of environmental problems of the Russian North on the example of a comprehensive geological and geochemical study of the Norilo-Pyasinskaya water system]. *Razvitiye mineralno-syryevoy bazy Sibiri: ot Obrucheva V.A., Usova M.A., Urvantseva N.N. do nashikh dney* [Development of the mineral resource base of Siberia: from Obruchev V.A., Usov M.A., Urvantsev N.N. to the present day]. Tomsk, 2013, pp. 479–482. (In Russ.).

5. Gurskiy Yu.N. *Geokhimiya litogidrosfery vnutrennykh morey. Tom 2. Metody izucheniya i protsessy formirovaniya khimicheskogo sostava ilovykh vod v ot-*

*lozheniyakh Chernogo, Azovskogo, Kaspiyskogo, Belogo, Baltiyskogo morey* [Geochemistry of lithohydrosphere of inland seas, Vol. 2. Methods of study and formation of chemical composition of silt waters in sediments of the Black, Azov, Caspian, White, and Baltic seas]. Moscow, GEOS Publ., 2003. 332 p. (In Russ.).

6. Gurskiy Yu.N. [Ecological and geochemical study of the Norilo-Pyasinskaya water system]. *Morskoy pereglyatsial i oledeneniye Barentsevo-Karskogo shelfa v pleystotsene: tezisy dokladov mezhdunarodnoy konferentsii v Murmanske* [Marine periglacial and glaciation of the Barents-Kara shelf in the Pleistocene: Theses of International Conference in Murmansk]. Apatity, KSC RAS Publ., 1998, pp. 29–32. (In Russ.).

7. Ivanov V.V., Rumyantseva E.V. [Long-term variability of annual runoff of Norilo-Pyasinsk Water System]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 12, pp. 23–28. (In Russ.).

8. Isaeva L.L., Kind N.V., Kraush M.A., Sulerzhitsky L.D. [On the age and structure of marginal glacial formations at the northern foot of the Putorana Plateau]. *Byulleten komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda – Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*, 1976, no. 45, pp. 117–123. (In Russ.).

9. Parmuzin Yu.P., Kirillov M.V., Shcherbakov Yu.A. [Physico-geographic zoning of the Krasnoyarsk Territory]. *Materialy po fiziko-geograficheskomu rayonirovaniyu SSSR (Sibir i Dalniy Vostok)* [Materials on the physical and geographical zoning of the USSR (Siberia and the Far East)]. Moscow, State University Publ., 1964, pp. 5–70. (In Russ.).

10. Perelman A.I. *Geokhimiya prirodnikh vod* [Geochemistry of natural waters]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 154 p. (In Russ.).

11. Rumyantseva E.A. *Analiz mnogoletney izmenchivosti vodnykh resursov Norilo-Pyasinskoy ozerno-rechnoy sistemy v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya. Avtoref. kand. dis.* [Analysis of long-term variability of water resources of the Norilo-Pyasinskaya lake-river system under conditions of anthropogenic impact. Author's abstract of PhD thesis]. Saint-Petersburg, 2012. 24 p. (In Russ.).

12. Taran O.P., Skripnikov A.M., Ionin V.A., et al. [Composition and concentration of hydrocarbons of bottom sediments in the CHHP-3diesel-fuel spill zone at AO NTEC (Norilsk, Arctic Siberia)]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal – Contemporary Problems of Ecology*, 2021, no. 4, pp. 423–449. (In Russ.).

13. Starichkov E.M. [On the geochemistry of bottom sediments of Lake Pyasino (Norilsk district)]. *Zapiski gornogo insituta – Journal of Mining Insitute*, 2002, no. 150 (2), pp. 19–22. (In Russ.).

14. Strelkov S.A. *Istoriya razvitiya relyefa Sibiri i Dalnego Vostoka* [The history of development of relief of Siberia and the Far East]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 347 p. (In Russ.).

15. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Geokhimiya margantsa* [Main Patterns in Manganese Geochemistry]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 2014. 538 p. (In Russ.).



16. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Rossiyskiye geologi rasskazyvayut o sebe. Teksty s kommentariyami. Kniga Chetvertaya: dopolnitelnaya* [Russian geologists talk about themselves. Text with comments. Book Four: additional]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 2016. 568 p. (In Russ.).
17. Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Rybina N.V. *Geokhimiya titana* [Geochemistry of Titanium]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 2018. 436 p. (In Russ.).
18. Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Rybina N.V. *Geokhimiya fosfora* [Geochemistry of Phosphorus]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 2020. 512 p. (In Russ.).
19. Lein A.Yu., Rusanov I.I., Zakharova E.E., et al. Biogeochemical processes of carbon and sulfur cycles in sediments of the outer shelf of the Black Sea (Russian Sector). *Doklady Earth Sciences*, 2010, no. 432. pp. 687–689.
20. Leonova G.A., Maltsev A.E., Melenevsky V.N., et al. Diagenetic transformation of organic matter in sapropel sediments of small lakes (southern West Siberia and eastern Transbaikalia). *Quaternary International*, 2019, vol. 524, pp. 40–47.
21. Leonova G.A., Maltsev A.E., Melenevsky V.N., et al. Geochemistry of Diagenesis of Organogenic Sediments: An Example of Small Lakes in Southern West Siberia and Western Baikal Area. *Geochemistry*, 2018, no. 56 (4), pp. 344–362.
22. Wersin P., Höhener P., Giovanoli R., Stumm W. Early diagenetic influences on iron transformations in a freshwater lake sediment. *Chemical Geology*, 1991, no. 90 (3–4), pp. 233–252.
23. Deflandre B., Mucci A., Gagné J.-P., et al. Early diagenetic processes in coastal marine sediments disturbed by a catastrophic sedimentation event. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2002, no. 66 (14), pp. 2547–2558.
24. Emerson S., Hedges J. Sediment Diagenesis and Benthic Flux. *Treatise on Geochemistry*, 2003, vol. 6, pp. 293–319.
25. Keller W.D. Diagenesis in Clay Minerals – A Review. *Clays and Clay Minerals*, 1962, vol. 11, pp. 136–157.
26. Lin Z., Sun X., Straussey H. et al. Multiple sulfur isotope constraints on sulfate-driven anaerobic oxidation of methane: Evidence from authigenic pyrite in seepage areas of the South China Sea. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2017, vol. 211, pp. 153–173.
27. Ingalls A.E., Aller R.C., Lee C., Wakeham S.G. Organic matter diagenesis in shallow water carbonate sediments. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2004, no. 68 (21), pp. 4363–4379.
28. Karpov I.K., Chudnenko K.V., Kulik D.A., Bychinskii V.A. The convex programming minimization of five thermodynamic potentials other than Gibbs energy in geochemical modeling. *American Journal of Science*, 2002, no. 302 (4), pp. 281–312.

© А. Е. Мальцев, Г. А. Леонова, В. А. Бычинский,  
С. К. Кривоногов, Л. В. Мирошниченко,  
А. С. Шавекин, С. Ф. Нечепуренко, 2022



УДК 550.834.42+550.34

## К ИЗУЧЕНИЮ СВЯЗИ РАЗМЕЩЕНИЯ РУДНЫХ УЗЛОВ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ ПРИАМУРЬЯ С ОСОБЕННОСТЯМИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ КОРЫ НА ВОСТОЧНО-СТАНОВОМ ФРАГМЕНТЕ ОПОРНОГО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ 8-ДВ

В. М. Соловьев<sup>1</sup>, А. С. Сальников<sup>2</sup>, В. С. Селезнев<sup>3</sup>, Т. В. Кашубина<sup>4</sup>, Н. А. Галёва<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия; <sup>2</sup>Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; <sup>3</sup>Сейсмологический филиал «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия; <sup>4</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты глубинных сейсмических исследований по данным Р- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте опорного 700-километрового геофизического профиля 8-ДВ. Построены глубинные сейсмические разрезы верхней коры (до глубин 20 км) с распределением скоростей продольных и поперечных волн. Скорости Р-волн в верхней части разреза изменяются от 4–5 км/с на Верхнезейской и Амуро-Зейской равнинах до 5,5–6,0 км/с в пределах горных хребтов и плоскогорий. Скорости S-волн в верхней части разреза составляют 3,0–3,2 км/с; пониженные значения (2,5–2,6 км/с) отмечаются на участке Верхнезейской равнины. Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по соотношению скоростей Р- и S-волн и коэффициенту Пуассона. В створе профиля проведен анализ связи выявленных аномалий с размещением крупных минерагенических зон Приамурья. Подтверждены установленные ранее на профилях 2-ДВ, 3-ДВ и 1-СБ корреляции по приуроченности ряда рудных месторождений к зонам пониженных отношений скоростей Р- и S-волн и коэффициента Пуассона в верхней части земной коры. Обоснована связь выделенных поверхностных сейсмических аномалий с глубинными корнями (на глубинах 5–20 км), которые можно считать рудоподводящими.

**Ключевые слова:** профиль ГСЗ, продольные и поперечные волны, скорости Р- и S-волн и их отношения, глубинный сейсмический разрез, земная кора, минерагеническая зона.

## TO STUDY THE DISTRIBUTION OF ORE CLUSTERS OF THE AMUR RIVER REGION MINEROGENIC PROVINCES WITH THE DEEP STRUCTURE FEATURES OF THE UPPER CRUST ON THE EAST-STANOVVOY FRAGMENT OF THE REFERENCE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL PROFILE 8-DV

V. M. Solovyev<sup>1</sup>, A. S. Salnikov<sup>2</sup>, V. S. Seleznev<sup>3</sup>, T. V. Kashubina<sup>4</sup>, N. A. Galyova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Altai-Sayan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russia; <sup>2</sup>Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; <sup>3</sup>Seismological Branch of United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russia; <sup>4</sup>Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia

The results of deep seismic studies based on P- and S-wave data on the East-Stanov fragment of the reference 700-kilometer geophysical profile 8-DV are presented. Deep seismic sections of the upper crust (up to depths of 20 km) with velocity distribution of longitudinal and transverse waves are constructed. The velocity of P-waves in the upper part of the section varies from 4-5 km/s within the Upper Zeya and Amur-Zeya plains to 5.5-6.0 km/s within mountain ranges and plateaus. According to S-waves in the upper part of the section, the velocity values are generally 3.0-3.2 km/s; reduced velocity values of 2.5-2.6 km/s are noted in the Upper Zeya Plain section. The inhomogeneous structure of the upper part of the Earth's crust to depths of 15-20 km has been established by the ratio of the velocities of P- and S-waves and the Poisson's ratio. In the section of the profile, an analysis was made of the relationship between the identified anomalies and the location of large mineragenic zones of the Amur region. The correlations previously identified on the profiles 2-DV, 3-DV and 1-SB on the occurrence of a number of ore deposits in the zones of reduced ratios of P- and S-wave velocities and Poisson's ratio in the upper part of the Earth's crust have been confirmed. The connection of the identified surface seismic anomalies with deep roots (at depths of 5-20 km), which can be considered ore-bearing, is substantiated.

**Keywords:** GSZ profile, longitudinal and transverse waves, P- and S-wave velocities and their ratios, deep seismic section, Earth's crust, minerogenic zone.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-72-84

Восток России обладает высоким ресурсным потенциалом многих полезных ископаемых, и прежде всего золота. Несмотря на значительное количество трудов российских ученых и составленных прогнозно-минерагенических карт, существует

много актуальных не до конца изученных вопросов о рудоконтролирующих структурах в земной коре и мантии, которые отвечают за образование рудных полезных ископаемых обширного региона. В решении данной проблемы значительная роль отводится

результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов на опорных геолого-геофизических профилях (2-ДВ, 3-ДВ, 1-СБ и 8-ДВ) с выяснением закономерностей распределения месторождений полезных ископаемых в пространстве и во времени в связи с эволюцией элементов литосферы. По работам на опорных профилях предполагается выработать предварительные глубинные прогнозно-поисковые критерии для выделения геологических структур, перспективных на обнаружение стратегических, благородных, остродефицитных и высоколиквидных видов минерального сырья на основе обработки новых и анализа ретроспективных геолого-геофизических материалов по опорному профилю.

В работах [7, 11] по результатам глубинных сейсмических исследований на опорных геолого-геофизических профилях 2-ДВ, 3-ДВ и 1-СБ на востоке России проанализированы связи скоростных аномалий продольных и поперечных волн с известными и потенциальными рудопроявлениями. Принципиальная особенность совместного использования обоих типов волн в случае изотропных глубинных объектов заключается в том, что в результате получается не один, как обычно, а два сейсмических образа изучаемой среды, найденных по соответствующим волнам разной поляризации. Эти исходные образы могут быть трансформиро-

ваны в ряд вторичных на основе известных функциональных и корреляционных связей скоростей Р- и S-волн с искомыми параметрами среды [1, 4, 5]. Необходимо отметить, что при использовании только Р-волн функциональные параметры не могут быть найдены даже для изотропной модели, а корреляционные связи скорости  $V_p$  с другими параметрами среды, как правило, менее тесные, чем для пары значений  $V_p$  и  $V_s$ . По соотношению времен регистрации Р- и S-волн ( $t_s/t_p$ ) на малых удалениях, отношению скоростей продольных и поперечных волн ( $V_p/V_s$ ) и коэффициенту Пуассона ( $\sigma$ ) в верхней части разреза на профилях 2-ДВ, 3-ДВ и 1-СБ был выделен ряд явно выраженных участков с пониженными значениями  $t_s/t_p$ ,  $V_p/V_s$  ( $<1,70-1,73$ ) и  $\sigma < 0,25$ . Отмечено, что практически все определенные таким способом участки совпали с известными зонами рудопроявлений [7, 11]. Прежде всего это блоки земной коры, в пределах которых размещены золото-серебряные месторождения. Пониженные отношения  $V_p/V_s$  и  $\sigma$  характерны для гранитоидов (кислых), с которыми чаще всего связаны золотоносные кварцевые жилы.

Далее приведен подробный анализ связи скоростных аномалий продольных и поперечных волн (и вторичных параметров) с известными и потенциальными рудопроявлениями на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ (рис. 1), пересекающем крупные минерагенические провинции Приамурья.

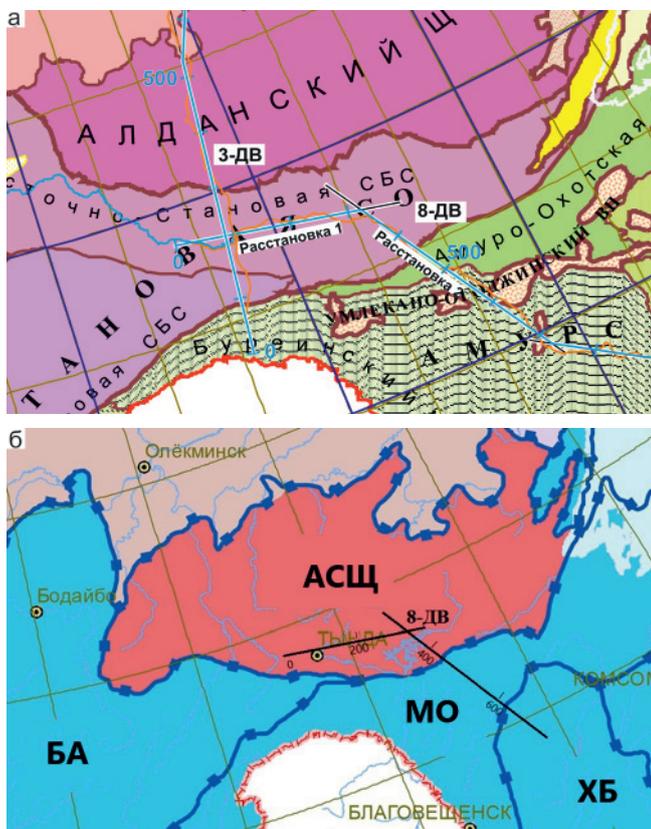
### Исходная информация

Профиль 8-ДВ (Восточно-Становой фрагмент) – один из опорных геолого-геофизических профилей, выполняемых Федеральным агентством по недропользованию на территории России [3]; вдоль него выполнен комплекс геофизических исследований, включающий методы ОГТ, ГСЗ, МТЗ.

### Геологическое строение

Профиль пересекает несколько структурно-тектонических элементов земной коры (Восточно-Становую складчато-глыбовую (блоковую) систему (СС) Селенгино-Становой складчатой области (СО), Амуро-Охотскую складчатую систему (СС), Буреинский массив Амурской складчатой области), различающихся особенностями геологического строения: набором геологических формаций, степенью метаморфизма и дислоцированности отложений [3, 13, 19] (см. рис. 1, а).

В пределах *Восточно-Становой системы* с запада на восток выделяются Ларбинский, Дамбукинский, Сивакано-Токский выступы раннеархейского комплекса основания. Контакты выступов с более молодыми образованиями тектонические. Шовные зоны и прогибы позднего архея – раннего протерозоя в системе также относятся к классу при- и межразломных структур (Джелтулакская). В Становой области выделяются два комплекса метаморфических пород – ранне- и позднеархейский [2, 20, 21].



**Рис. 1.** Схемы тектонического по [3] (а) и минерагенического районирования по [16, 17] (б) на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ (минерагенические провинции: АС – Алдано-Становая, МО – Монголо-Охотская, БА – Байкальская, ХБ – Ханкай-Буреинская)



Архейские образования повсеместно подверглись интенсивной гранитизации и мигматизации и распространены фрагментарно. После позднеархейской складчатости Становая область развивалась как структура сводово-глыбового типа, испытывая перманентно поднятие, размыв и внедрение многочисленных интрузий различного возраста и состава [13, 19]. Для области характерно наличие огромных массивов основных пород, тяготеющих к зонам Станового, Каларского и других глубинных разломов. В неотектонический этап развития Становая область в целом испытывала общее воздымание, размыв и вынос обломочного материала за пределы региона, в связи с чем кайнозойские отложения на преобладающей части ее территории весьма маломощны и имеют преимущественно крупнообломочный состав [13, 19].

*Монголо-Охотская СС* отличается исключительной сложностью строения. Наиболее узкая ее часть, зажата между Восточно-Становой СС, Буреинским и Аргуньским массивами Амурской СО, представляет собой серию линейных горст-антиклинориев и грабен-синклинориев (Янкано-Джагдинская зона), осложненных многочисленными надвигами и взбросами. Антиклинории сложены породами позднепротерозойского и раннепалеозойского возраста, синклинории – среднепозднепалеозойскими (девон – пермь) и мезозойскими образованиями [13, 19].

Составными частями Буреинского массива являются Туранский, Мамынский и Гонжинский выступы, разделенные разновозрастными прогибами и впадинами (Депский, Буреинский), которые вместе с Аргуньским массивом в раннем протерозое составляли единую структуру – северный выступ Китайско-Корейского щита. Фундамент Буреинского массива сложен архейскими и раннепротерозойскими метаморфическими образованиями, небольшие поля которых сохранились в виде ксенолитов и останцов кровли среди обширных массивов разновозрастных гранитоидов. Буреинский массив в палеозое был ареной интенсивного гранитоидного магматизма и блоковых дислокаций, продолжавшихся и в мезозое, чему сопутствовали образование наложенных впадин и наземный вулканизм. В восточной части Туранского выступа образовался пригеосинклинальный Буреинский прогиб, окаймляющий Буреинский массив с востока и севера; на западе – Верхнеамурский и Амуро-Зейский прогибы [13, 19].

В краевых частях *Амуро-Охотской складчатой системы*, отделяющей Селенгино-Становую и Амурскую СО, картируются Джелтулакский, Северо-Тукурингрский и Южно-Тукурингрский разломы глубинного заложения [20, 21]. Джелтулакский и Северо-Тукурингрский разломы маркируют область сочленения Амуро-Охотской СС и Селенгино-Становой СО; границу юго-восточного ограничения Амуро-Охотской СС и сочленения с крупным Буре-

инским массивом Амурской СО маркирует Южно-Тукурингрский разлом.

### Полевые исследования и волновое поле

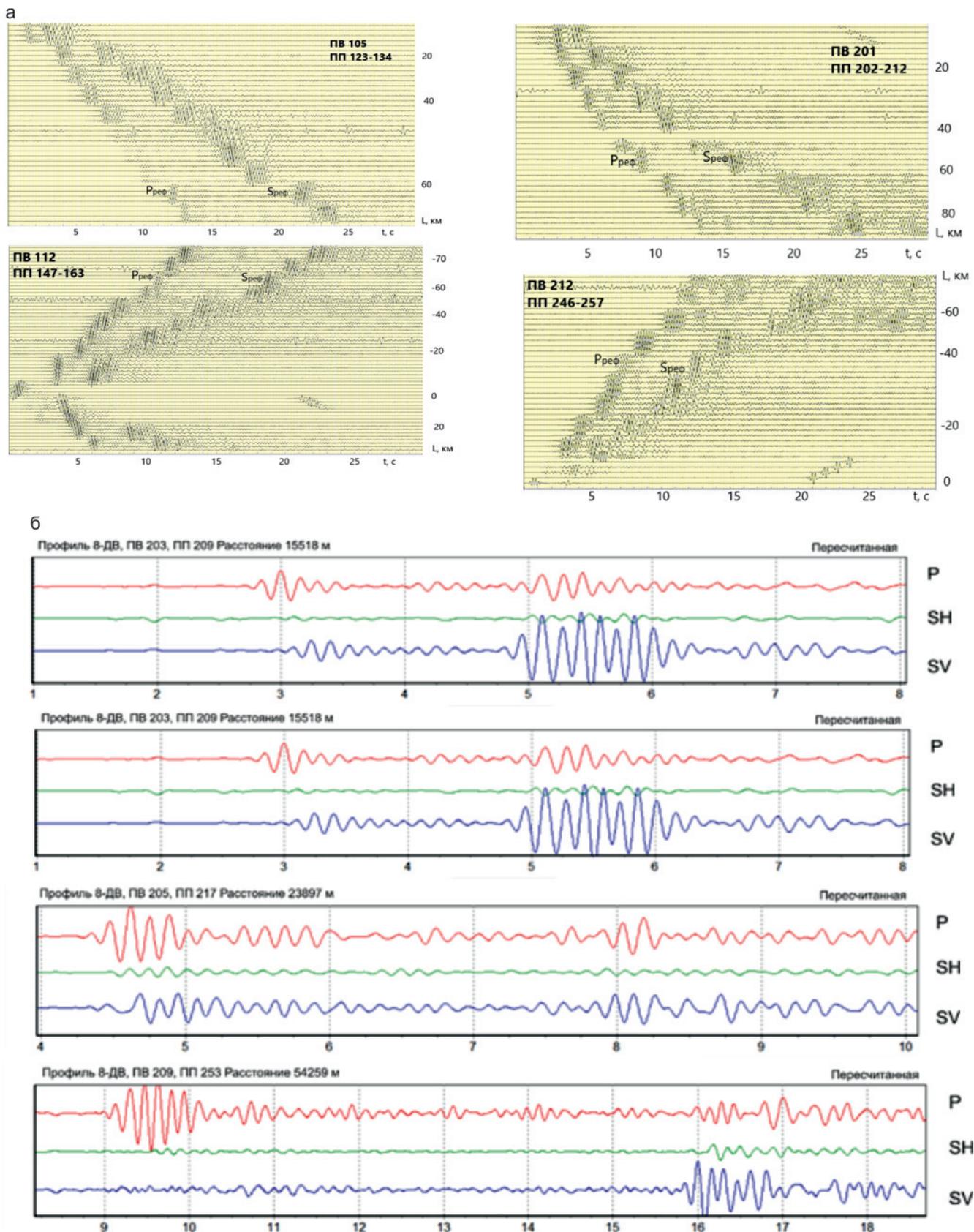
Полевые исследования ГСЗ на профиле 8-ДВ выполнялись по методике точечных зондирований [4, 10] в летний период 2016 г. на двух расстановках: Ларба – Бомнак (1) и Верхнезейск – Ульма (2) протяженностью 390 и 500 км соответственно (см. рис. 1). Были реализованы детальные системы наблюдений с расстоянием между источниками возбуждения (взрывы в водоемах с массой 3–5 т гранулолита) в среднем 20–40 км. Всего на 700-километровом сводном профиле 8-ДВ было отработано 29 источников возбуждения.

Регистрация на профиле осуществлялась в пунктах регистрации, размещенных в среднем через 5–8 км с дискретными группами вертикальных приборов Sercel SG-5 и через 18–20 км – с трехкомпонентными приборами GS-One. В качестве регистрирующей аппаратуры использовалось около 200 комплектов 4-канальной 24-разрядной аппаратуры «РОСА-А».

По результатам полевых сейсмических наблюдений получено 29 годографов с записями рефрагированных Р- и S-волн от границ в земной коре, преломленных и отраженных Р- и S-волн от поверхности Мохоровичича на удалениях 0–300 км [10]. Примеры волнового поля рефрагированных Р- и S-волн на удалениях 0–100 км от источников, освещающих верхнюю кору Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ, представлены на рис. 2.

В пределах расстановок 1 и 2 скорость Р-волн в первых вступлениях на удалениях 0–15 км в целом изменяется от 2,7–2,8 до 5,5–5,7 км/с. Наиболее высокими значениями характеризуются участки высокогорных хребтов и плоскогорий. На расстановке 1 это участки  $X = 20–70$  км,  $X = 220–320$  км; на расстановке 2 –  $X = 320–345$  км,  $X = 445–545$  км и  $X = 695–745$  км (см. рис. 1, а). Наиболее низкие значения скорости Р-волн (2,7–2,8 км/с) определены на расстановке 2 в зоне Верхнезейской равнины ( $X = 365–435$  км); пониженные (4,4–5,0 км/с) отмечены также в юго-восточной части расстановки 2 ( $X = 595–645$  км) (см. рис. 1, а).

На базах свыше 15 км и до удалений 100–150 км скорость продольных волн по основной массе годографов с обеих расстановок возрастает незначительно (примерно до 6,0–6,2 км/с, редко до 6,3 км/с). На ряде годографов расстановки 2 в центральной части в интервале 395–425 км значения кажущейся скорости увеличиваются до 6,4–6,6 км/с. В пределах данной расстановки с ряда источников возбуждения на участке  $X = 395–445$  км отмечены изломы годографов на низкие скорости волн в первых вступлениях (от 2,7–2,8 км/с на самых малых удалениях до 5,0–5,4 км/с на удалениях до 130–180 км), что обусловлено низкоскоростными неоднородностями в верхней части Верхнезейской равнины.



**Рис. 2.** Примеры волнового поля P- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ на вертикальных (а) и трехкомпонентных приборах после поляризационной фильтрации (б)

В последующих частях записей поля продольных волн на вертикальных приборах (без частотной фильтрации) менее уверенно выделяется поле поперечных аналогов; применение низкочастотной

фильтрации, а также трехкомпонентных данных с поляризационной фильтрацией (см. рис. 2) улучшает выделение поперечных волн. Трехкомпонентные записи позволяют изучать вопросы анизотропности среды,

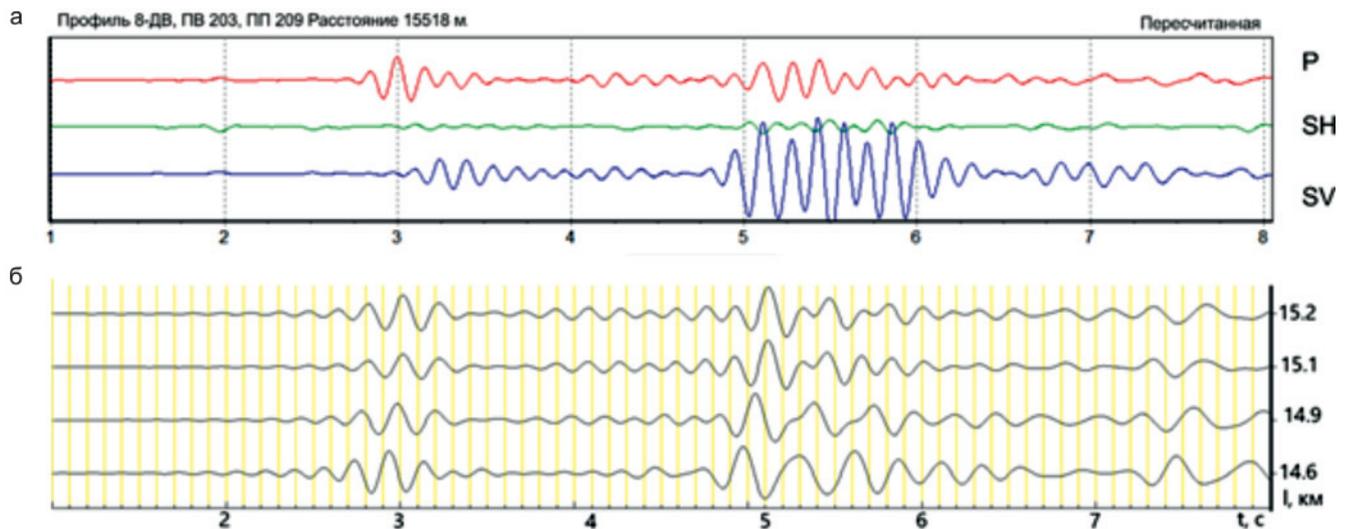


Рис. 3. Выделение поперечных волн на профиле 8-ДВ на трехкомпонентных записях (а) и вертикальных приборах (б)

а также проводить заверку корреляции поперечных волн на вертикальных приборах. Как видно из рис. 3, с пункта возбуждения 203 в точке 209 расстановки 2 на вертикальном приборе на временах 5,1 с (максимальная фаза верхней трассы, удаление 15,2 км) выделяется интенсивная низкочастотная волна с пониженной кажущейся скоростью (по сравнению с продольной волной в первых вступлениях), соответствующая волне SV на трехкомпонентной пересчитанной записи примерно на том же удалении ( $\approx 15,5$  км).

Наиболее представительный материал получен по данным преломленных (рефрагированных) поперечных волн от границ в земной коре на удалениях 0–100 км (см. рис. 2). По сравнению с продольными S-волны имеют повышенные в 1,5–2 раза времена регистрации, пониженные видимые частоты и кажущиеся скорости на сейсмограммах. В целом качество записей S-волн на участке 2 (Верхнезейск – Ульма) хуже, по сравнению с сейсмическим материалом на участке 1 (Ларба – Бомнак), что связано с мощной низкоскоростной толщей в районе Верхнезейской равнины (см. рис. 1, а). Так, в центральной ее части отмечается полное отсутствие записей S-волн даже на небольшом удалении ( $\approx 5$ –6 км).

Как и для продольных волн, по годографам S-волн отмечается увеличение кажущихся скоростей от 2,5–3,0 км/с на малых удалениях (пониженных главным образом в районе Верхнезейской равнины) до 3,5–3,7 км/с на удалениях свыше 100 км. На ряде годографов на больших базах в пределах западной части расстановки 1 и юго-восточной части расстановки 2 отмечено увеличение кажущихся скоростей поперечных волн до 3,8–4,0 км/с.

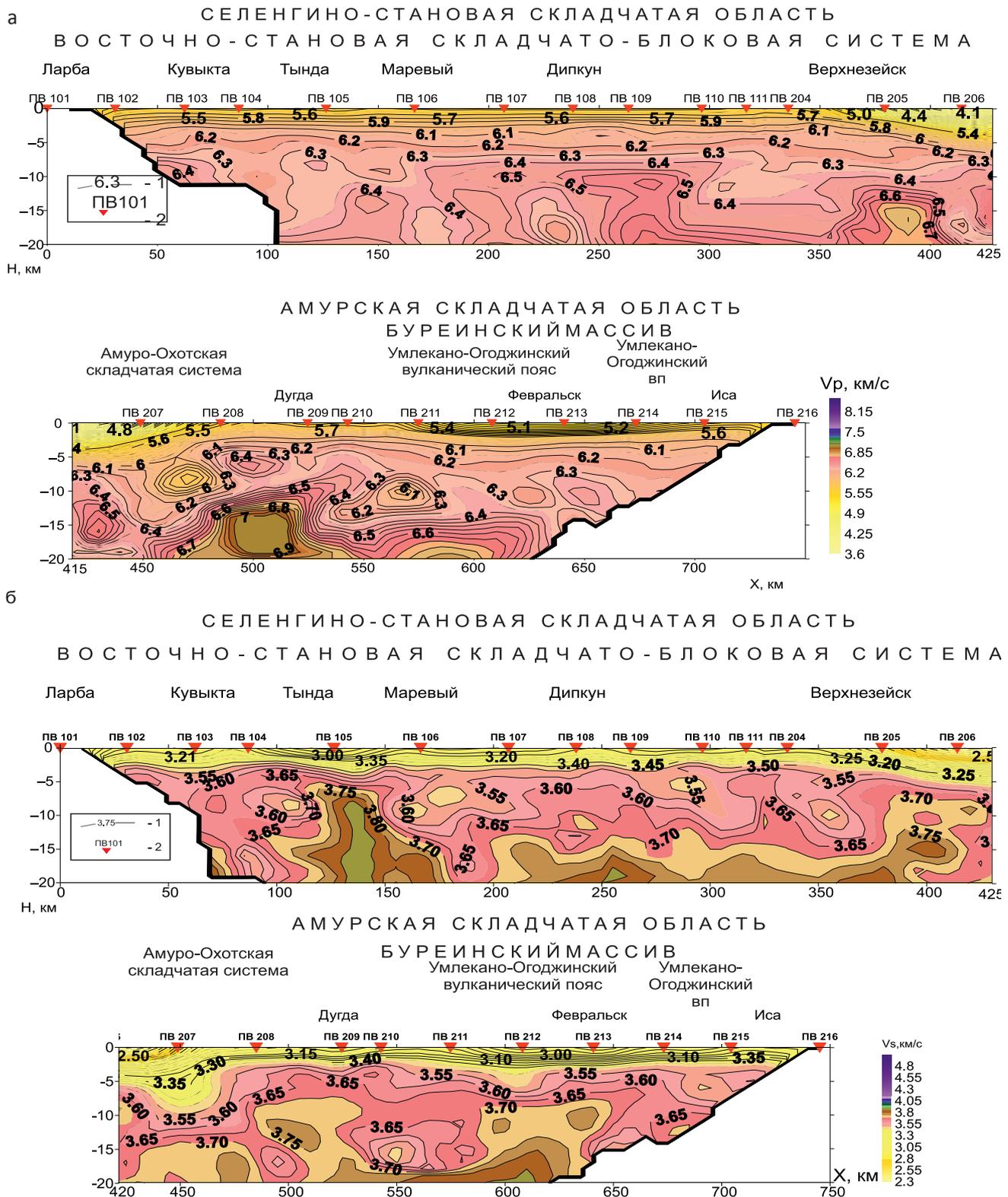
#### Особенности сейсмического строения верхней коры по данным разнополяризованных Р- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ

Сводные глубинные сейсмические разрезы верхней коры по данным продольных и попереч-

ных волн на расстановках 1 и 2 Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ приведены на рис. 4. Способы интерпретации и построений разрезов детально освещены в работах [4, 7, 10]. Интерпретация продольных и поперечных рефрагированных волн проводилась способом сейсмической томографии на временных задержках рефрагированных волн [4, 7, 10]. В качестве интерпретационной модели принимается непрерывная двумерно-неоднородная модель среды с нарастанием скорости с глубиной, допускающая наличие прерывистых волноводных включений. По годографам рефрагированных Р- и S-волн на профиле 8-ДВ были рассчитаны поля времен и томографические разрезы в изолиниях скорости (см. рис. 4).

Скорость Р-волн в верхней части разреза изменяется от 4–5 км/с на Верхнезейской ( $X = 340$ –430 км) и Амуро-Зейской ( $X = 560$ –680 км) равнинах до 5,5–6,0 км/с в западной части Станового хребта ( $X = 0$ –350 км) и горного хребта Джагды ( $X = 480$ –520 км) [10]; мощность осадочных отложений в центральной части Верхнезейской равнины достигает 5 км, в Амуро-Зейской – 2,5–3 км (см. рис. 4, а). На глубинах 10–20 км в створе профиля выделяются линзы высоко- (6,4–7,0 км/с) и низкоскоростных (6,25–6,35 км/с) пород. Наиболее высокие значения скорости (6,6–6,7 км/с и даже до 7,0 км/с) отмечаются под Верхнезейской, Амуро-Зейской равнинами и в пределах горного хребта Джагды ( $X = 480$ –540 км, область сочленения Амуро-Охотской СС и Буреинского массива) [10]. Пониженные значения скорости Р-волн зафиксированы в юго-западной части Станового хребта (участки профиля  $X = 160$ –180 км и  $X = 230$ –250 км) на глубинах 15–20 км, а также под центральной ( $X = 410$ –430 км) и юго-восточной ( $X = 465$ –480 км) частями Верхнезейской равнины на глубинах 15–20 и 7–15 км соответственно (см. рис. 4, а) [10].

В верхней части разреза значения скорости S-волн составляют в целом 3,0–3,2 км/с; понижен-



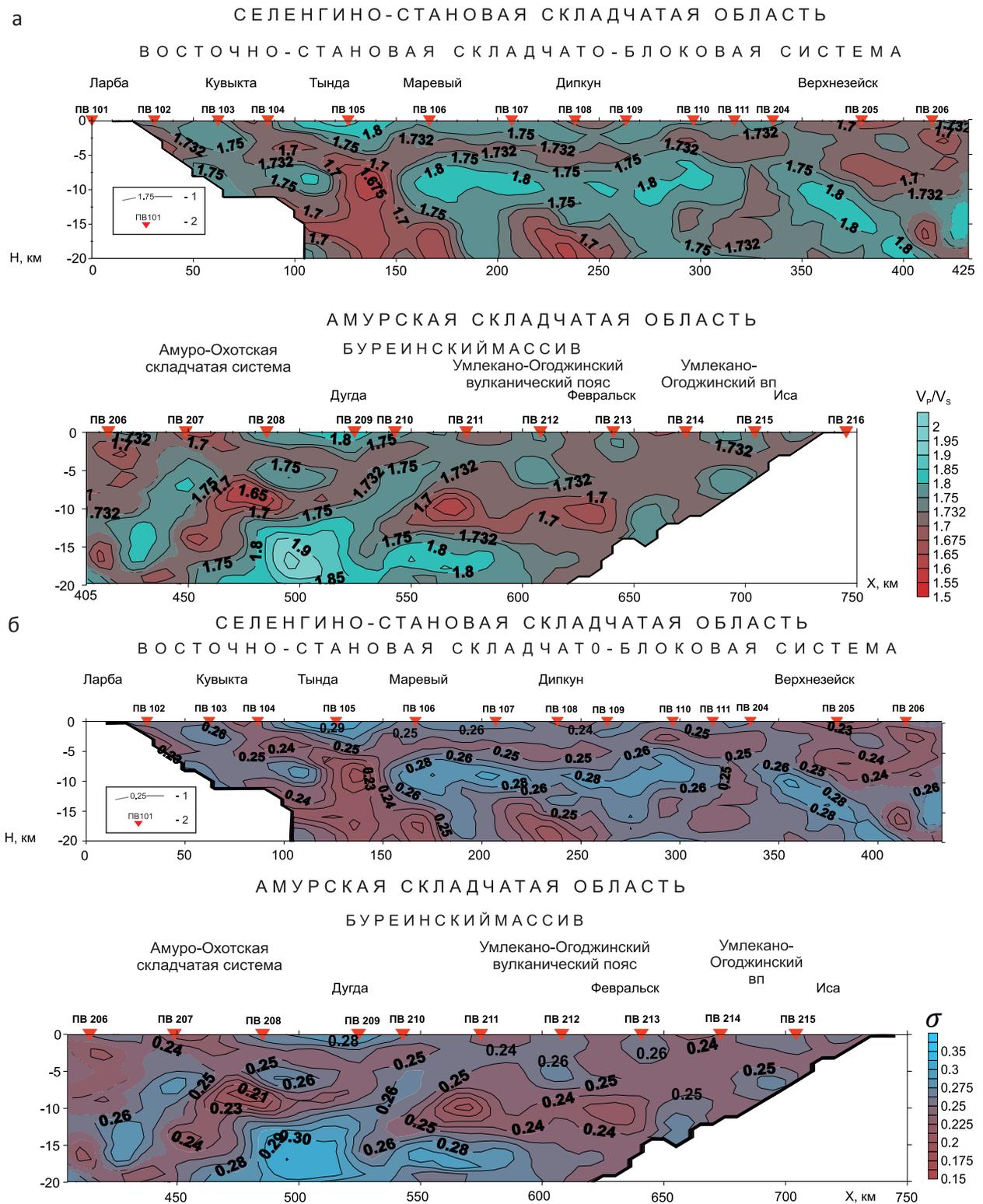
**Рис. 4.** Глубинные сейсмические разрезы верхней коры по данным Р- (а) и S-волн (б) на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ

1 – изолинии скорости, км/с; 2 – источники возбуждения на расстановках 1 (ПВ101–ПВ111) и 2 (ПВ205–ПВ216)

ные отмечаются на участке Верхнезейской равнины (2,5–2,6 км/с) и на Амуро-Зейской (2,9–3,0 км/с) (см. рис. 4, б).

На глубинах 5–20 км в пределах разреза по данным поперечных волн выделяется ряд участков с пониженными и повышенными значениями

скорости до 3,4–3,5 и 3,75–3,8 км/с соответственно. Первые выделяются на глубинах 6–12 км в юго-западной части Станового хребта (участки профиля  $X = 100–120$  км,  $X = 170–200$  км и  $X = 340–355$  км) и в центральной части Амуро-Зейской равнины ( $X = 540–550$  км) (см. рис. 4, б); вторые – на глуби-



**Рис. 5.** Распределение отношений скоростей  $V_p/V_s$  (а) и коэффициента Пуассона ( $\sigma$ ) (б) на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ

1 – изолинии значений параметров  $V_p/V_s$  и  $\sigma$ ; 2 – источники возбуждения

нах 8–20 км на участках профиля  $X = 125–175$  км,  $X = 375–400$  км в северо-западной части Верхнезейской равнины и на участке  $X = 580–620$  км Амурской (см. рис. 4, б).

В верхней коре профиля явно выделяется ряд участков с пониженными отношениями скоростей Р- и S-волн ( $V_p/V_s$ ) – 1,65–1,73 (рис. 5, а). В самой верхней части разреза северо-западной полови-

ны профиля это участки  $X = 20–50$  км,  $X = 70–90$  км,  $X = 230–255$  км,  $X = 290–305$  км,  $X = 360–425$  км; в юго-восточной половине профиля –  $X = 440–470$  км,  $X = 570–595$  км,  $X = 618–635$  км,  $X = 650–680$  км. Более ярко протяженная зона пониженных отношений  $V_p/V_s$  прослеживается на глубинах 3–6 км в северо-западной части Восточно-Станового фрагмента профиля; на больших глубинах здесь



выделяется несколько зон с  $V_p/V_s = 1,65-1,70$ : узкая столбообразная зона на глубинах 6–20 км на участке  $X = 125-150$  км и зоны на глубинах 14–20 км на участках  $X = 150-170$  км и  $X = 220-270$  км. В юго-восточной части профиля на больших глубинах в верхней коре оконтуривается ряд зон с такими же значениями: на участках  $X = 370-400$  км,  $X = 445-480$  км и  $X = 545-630$  км на глубинах 6–14 км и на участках  $X = 395-405$  км,  $X = 430-460$  км на глубинах 12–20 км.

Необходимо отметить, что большинство выделенных зон с пониженными отношениями  $V_p/V_s$  в верхней коре связаны между собой. Так, в северо-западной части Восточно-Станового фрагмента профиля на участке  $X = 125-150$  км начинающаяся с глубины 20 км такая зона поднимается вверх до глубины 6 км и протягивается в западном и восточном направлениях; другая подобная характерная линза в центральной части профиля протягивается наклонно с глубины 20 км на участке  $X = 430-440$  км до 8 км на участке  $X = 445-480$  км и разветвляется на две полосы: вертикальную с выходом на поверхность ( $X = 435-455$  км) и наклонную в юго-восточном направлении (см. рис. 5, а).

Распределение значений коэффициента Пуассона ( $\sigma$ ) (см. рис. 5, б) аналогично таковому  $V_p/V_s$ . Менее контрастные зоны отмечаются в верхней части разреза, более контрастные – на глубинах 6–20 км в целом в пределах Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ (см. рис. 5, б), особенно на участке  $X = 470-525$  км в верхней коре на глубине 7–20 км, где значения  $\sigma$  изменяются от 0,21 до 0,30, что весьма существенно для кристаллических пород.

### Корреляция особенностей сейсмического строения и размещения рудных узлов по материалам ГСЗ на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ

Восточно-Становой фрагмент профиля 8-ДВ находится в пределах крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса – Селенгино-Становой СО и Амурской СС [3]. Согласно [9], «Селенгино-Становой супертеррейны юго-восточной окраины Северо-Азиатского кратона является одной из ключевых структур восточной окраины Азии. Основу его геологического строения составляют традиционно выделяемые условно ранне- и позднедокембрийские комплексы, а также многочисленные интрузивные и вулканоплутонические ассоциации палеозоя и мезозоя». К таким комплексам и блокам в западной части профиля 8-ДВ ( $X = 0-340$  км) в пределах Восточно-Становой СС Селенгино-Становой СО по геологическим данным относят Ларбинский (0–40 км), Иликанский (130–175 км), Улаханский (250–330 км) метаморфические блоки фундамента позднеархейского возраста, а также Тындинский (40–130 км) и Унюхинский (175–250 км) блоки интрузий юрского возраста

[2, 20, 21]. В позднеархейских и юрских гранитах и гранодиоритах этих комплексов сосредоточено большое количество рудных золото-серебряных и железистых месторождений. В Приамурье, по разным оценкам, находится 80 рудно-россыпных узлов с общим потенциалом в 3–5 тыс. т золота [8]. При этом отмечается, что россыпной потенциал провинции практически отработан, и основное внимание в настоящее время должно уделяться эксплуатации известных рудных месторождений, выявлению и разведке новых [8]. Кислые гранитоиды и гранодиориты, в которых размещено большинство золоторудных месторождений, как отмечалось ранее, за счет повышенного содержания кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) в сейсмических данных создают аномалии упругих ( $V_p$ ,  $V_s$ ) и вторичных ( $V_p/V_s$ ,  $\sigma$ ) параметров. Это создает предпосылки для оконтуривания крупных магматических объектов по аномалиям сейсмических данных на разных участках.

По соотношению скоростей продольных и поперечных волн и коэффициента Пуассона в верхней части разреза на профиле выделены отчетливо выраженные участки с пониженными  $V_p/V_s$  ( $<1,70-1,73$ ) и  $\sigma < 0,25$ . К наиболее крупным таким объектам на профиле (и, принимая во внимание распределение рудных месторождений на прогнозно-минерагенических картах России, по всей видимости, на всей площади [15–17]) следует отнести участки пониженных аномалий  $V_p/V_s$  и  $\sigma$  в западной (начальной) части профиля ( $X = 20-90$  км), а также в центральной ( $X = 360-470$  км) и юго-восточной ( $X = 618-680$  км) частях Восточно-Станового фрагмента. Общее свойство выделенных участков – наличие «глубинных корней» выделенных аномалий, прослеженных на глубинах от 4 до 20 км, которые могут считаться рудоподводящими. Это согласуется с мнением исследователей, утверждающих, что «при внешней несхожести отдельных месторождений каждый тип характеризуется общностью генезиса золотого оруденения, относительно сходным минеральным составом и геохимией руд» [14]. Рудоподводящими структурами на рассмотренной территории являются зоны региональных разрывных нарушений, и прежде всего главных разломов – Южно-Тукурингского, Северо-Тукурингского и Джелтулакского, служащих каркасом зоны мезозойской тектоно-магматической коллизии Алдано-Станового, Амурского и Монголо-Охотского мегаблоков [9, 18, 20, 21].

Кратко охарактеризуем данные крупные участки с «аномальными» пониженными значениями  $V_p/V_s$  и  $\sigma$ .

**Участок 1 («западный блок»)** ( $X = 20-90$  км). Аномалии пониженных отношений  $V_p/V_s$  и  $\sigma$  в западной и восточной частях блока начинаются от поверхности и протягиваются в восточном направлении (почти до  $X = 100-120$  км) на глубины 4–6 км, а ниже соединяются с крупной вертикальной зоной значительно пониженных отношений  $V_p/V_s$  и  $\sigma$ , рас-

пространяющейся до глубины 20 км (см. рис. 5). В минерагеническом плане аномалия выделяется в западной части Южно-Становой минерагенической зоны Алдано-Становой провинции (рис. 6, также см. рис. 1, б) [13, 15, 16].

Вмещающие породы Ларбинского и Тындинского блоков Селенгино-Становой складчатой области представлены позднеархейскими гранитами и интрузиями юрских гранодиоритов, что согласуется со значениями скоростей Р- и S-волн (примерно 5,7–6,2 и 3,3–3,6 км/с соответственно) на скоростном разрезе для этих участков (см. рис. 4) [15, 20, 21]. В западной части участка 1 размещаются крупный Ларгинский железорудный узел и золоторудные месторождения [15, 16]. Его восточную часть можно отнести к участкам, потенциально перспективным для поисков золоторудных месторождений. Здесь находятся Хорогочинский низкопродуктивный и Уркиминский среднепродуктивный рудно-россыпные узлы [8].

*Участок 2* («центральный блок») ( $X = 360\text{--}470$  км). Обширная аномалия пониженных отношений  $V_p/V_s$  и  $\sigma$  наиболее ярко проявлена на глубинах 6–11 км в северо-западной и юго-восточной частях участка 2 и на глубине 2–5 км в центральной его части (см. рис. 5). Северо-западная и центральная части участка 2 выделяются в контурах Джелтулакской минерагенической зоны Алдано-Становой провинции (см. рис. 1, б, рис. 6) [15–17]. В структурно-тектоническом плане эта зона находится в пределах Верхнезейской равнины в области сочленения Восточно-Становой складчато-блоковой системы и Амуро-Охотской складчатой системы. В самой верхней части разреза находятся низкоскоростные неоген-четвертичные отложения мощностью 1,5–2 км, значения скоростей Р- и S-волн для которых на сейсмическом разрезе (см. рис. 4) составляют 4,2–4,6 и 2,5–2,6 км/с соответственно; вмещающие породы на большой глубине, по аналогии с близлежащими выходами кристаллических пород [15], могут быть представлены архейскими гранодиоритами. Учитывая большую мощность осадков Верхнезейской равнины, северо-западную и центральную части участка 2 можно считать перспективными лишь на больших глубинах. Юго-восточная часть участка 2 выделяется в контурах центральной части Джагдинской рудной зоны Монголо-Охотской минерагенической провинции (см. рис. 1, б, рис. 6) [15–17]. В структурно-тектоническом плане участок находится в центральной части Амуро-Охотской складчатой системы в зоне крупного Джелтулакского разлома глубинного заложения [11, 12, 15–17]. В пределах участка размещается крупный Унья-Бомский золоторудный район (с крупным месторождением Бом [16, 17]). В работе [12] авторы «обосновывают формирование золото-кварцевой минерализации узла в раннемеловое время в связи с дифференциацией умеренно кислых магм глубинного очага и двух его промежуточных камер, фиксируемых локальными гравитационными

минимумами в истоках р. Унья и в среднем течении р. Бом. Оруденение формировалось на уровне верхнего выклинивания дайковой фации магматического очага в парагенетической связи с дайками гранит-порфиров и порфиритов под общим мощным сланцевым экраном». Судя по значениям скоростей Р- и S-волн 5,4–5,6 км/с и 2,95–3,15 км/с соответственно (см. рис. 4), верхняя часть разреза представлена кислыми породами с высоким содержанием кремнезема, что и определяет здесь приуроченность к ним золоторудных месторождений.

*Участок 3* («юго-восточный блок») ( $X = 618\text{--}680$  км). Широкая аномалия сейсмических параметров  $V_p/V_s$  и  $\sigma$  проявляется с поверхности до глубин 8–10 км, где в северо-западной части она соединяется с зоной существенно пониженных значений  $V_p/V_s$  (1,6–1,7) и  $\sigma < 0,24$  (см. рис. 5). В структурно-тектоническом плане данный участок находится в центральной части Буреинского массива Амурской складчатой области в зоне Умлекано-Огоджинского вулканического пояса (см. рис. 3, 4) [15–17]. В минерагеническом плане его северо-западная часть располагается в Монголо-Охотской минерагенической провинции, юго-восточная – в Ханкай-Буреинской (см. рис. 1, б, рис. 6). Золоторудные (и железистые) месторождения здесь приурочены к кислым породам гранит-гранодиоритового комплекса в составе Умлекано-Огоджинского юрско-мелового вулканического пояса. В непосредственной близости от северо-западной части участка 3 размещаются Огоджинский и Харгинский золоторудно-россыпные узлы низкой и высокой продуктивности соответственно [8]; в юго-восточной его части – крупный Февральский железорудный район Эзопской минерагенической зоны и крупный золоторудный узел (см. рис. 6) [15–17].

Представленное выделение трех крупных блоков, по сути, территориальное. На самом деле правомерно более дробная делимость. Так, согласно прогнозно-минерагенической карте (см. рис. 6) золоторудные месторождения «центрального» блока находятся в контурах Алдано-Становой и Монголо-Охотской минерагенических провинций, а «юго-восточного» – в Монголо-Охотской и Ханкай-Буреинской. Косвенно подобное разделение проявляется и в прослеживаемости аномалий от поверхности к глубинным корням. На центральном участке 2 видно явное разделение глубинных «корней» аномалий: одного – для северо-западной и центральной частей, другого – для юго-восточной (см. рис. 5). Подобное разделение «корней» аномалий вероятно и для «юго-восточного блока», о чем свидетельствуют разделяющие их зоны повышенных отношений скоростей  $V_p/V_s$  (1,75–1,8) и  $\sigma > 0,25$  в центральной части участка 3 (см. рис. 5). Необходим детальный анализ этих блоков с акцентом на геохимию и минерагению пород и золотосодержащих оруденений.

Кроме выделенных протяженных участков разреза с аномалиями пониженных отношений  $V_p/V_s$



**Рис. 6.** Фрагмент прогнозно-минералогической карты по [16, 17] для Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей в створе Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ  
 Месторождения: 1 – золотые, 2 – серебряные, 3 – железные, 4 – медно-молибденовые, 5 – свинцово-цинковые; 6 – выделенные крупные участки с «аномальными» пониженными значениями  $V_p/V_s$  и  $\sigma$



(<1,73) и  $\sigma$  (<0,25), коррелирующих с золоторудными (и железистыми) месторождениями, в створе профиля выделяется ряд мелких участков у поверхности и на небольших глубинах. Для их изучения необходимы более детальные сейсмические данные о верхней части разреза, которые можно получить из материалов ОГТ (по данным преломленных Р- и S-волн на удалениях 0–10 км). Опыт автоматизированной обработки таких материалов на профиле 3-ДВ и 1-СБ показал их высокую информативность [6].

На ряде участков Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ в верхней части разреза установлены высокие значения  $V_p/V_s$  (>1,75–1,80) и  $\sigma$  (>0,25–0,26): участки  $X = 100–150$  км в Тындинском блоке и  $X = 490–540$  км в зоне Южно-Тукурингского глубинного разлома (см. рис. 5) [10, 16, 17, 20]. Породы в верхней части коры здесь представлены юрскими и архейскими гранитоидами соответственно [10, 13, 16, 20]. Явную связь этих зон (см. рис. 5) и приуроченности к ним конкретных месторождений проследить не удалось. Скорости продольных и поперечных волн для этих участков составляют 5,6–5,8 км/с и 3,0–3,2 км/с соответственно и могут свидетельствовать об увеличении основности кристаллических пород. Расчеты содержания кремнезема  $SiO_2$  для этих пород по приведенной в работе [1] формуле при средних значениях скоростей Р- (5,7 км/с) и S-волн (3,1 км/с) дают значение около 63 %, что отвечает средним породам. Для ряда выделенных выше участков профиля с пониженными значениями отношения  $V_p/V_s$  и  $\sigma$  средние значения содержания кремнезема  $SiO_2$  в породах составляли около 70 %, что отвечает кислым породам.

## Выводы

Определены особенности глубинного сейсмического строения верхней коры Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей по данным разнополяризованных Р- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте опорного 700-километрового геолого-геофизического профиля 8-ДВ. Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по значениям скоростей Р- и S-волн, их соотношению и коэффициенту Пуассона. В верхней части земной коры в пределах профиля выделены три протяженных участка с пониженными значениями параметров  $V_p/V_s$  (<1,70–1,73) и  $\sigma$  <0,25. Основная часть этих участков на профиле совпадает с известными зонами рудопоявления – золото-серебряными и железистыми месторождениями в гранитогнейсах, гранитоидах и гранодиоритах. Обоснована связь выделенных поверхностных сейсмических аномалий с глубинными корнями (на глубинах 5–20 км), которые можно считать рудоподводящими и имеющими связь с зонами мезозойской тектоно-магматической коллизии Алдано-Станового, Амурского и Монголо-Охотского мегаблоков.

Полученная новая дополнительная информация о глубинном строении слабо изученной терри-

тории Приамурья чрезвычайно полезна для обоснования современной глубинной геофизической модели земной коры и верхней мантии региона и прогноза металлогении.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21-03) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), а также в соответствии с разделом «Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин» программы РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов», утвержденной постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 322.*

*Авторы выражают признательность коллегам из Алтае-Саянского и Сейсмологического филиалов ФИЦ ЕГС РАН, СНИИГГиМС и ВСЕГЕИ за ценные замечания при обсуждении статьи.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников А. Л., Немзоров Н. И., Кашубин С. Н. Способ определения типа горных пород по сейсмическим данным: авт. св. SU 1642416 А1 кл. G 01 V1/30, 15.04.1991.
2. Геологическая карта России, увязанная с материалами по странам СНГ. Масштаб 1:2 500 000. 2008 г. / гл. ред. О. В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
3. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии / С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн и др. // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 76. – С. 9–21.
4. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и S-волнах / С. В. Крылов, Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина и др. – Новосибирск: Наука, 1993. – 199 с.
5. Деформационно-прочностное районирование земной коры Алтае-Саянской складчатой области / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Д. Дучков, А. В. Лисейкин // Проблемы сейсмологии III тысячелетия: матер. междунар. конф. – Новосибирск, 2003. – С. 332–337.
6. Динамический пересчет головных волн на центральном участке опорного профиля 3-ДВ: особенности методики и интерпретация временных разрезов / П. О. Полянский, А. Ф. Еманов, А. С. Сальников, В. В. Жабин // Геофизические исследования. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 5–33.
7. К использованию поперечных волн на опорных профилях на Востоке России / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь-2015. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – С. 243–247.
8. Мельников А. В., Степанов В. А. Анализ продуктивности рудно-россыпных узлов Приамурской золотоносной провинции // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: 4-я Всерос. науч. конф. (05–07 октября 2016 г., Благовещенск). Т. 1. – Благовещенск, 2016. – С. 66–69.



9. **Модель** формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии / Л. М. Парфенов, Н. А. Берзин, А. И. Ханчук и др. // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41.

10. **Особенности** глубинного строения Восточно-Станового фрагмента опорного геолого-геофизического профиля 8-ДВ (по данным ГСЗ) / В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2020. – № 4. – С. 29–39.

11. **Особенности** сейсмического строения Забайкалья в створе опорного профиля 1-СБ «Восточный» по данным разнополяризованных Р- и S-волн / В. М. Соловьев, Н. А. Галёва, А. С. Сальников и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2019. – № 3 (39). – С. 57–71.

12. **Остапенко Н. С., Нерода О. Н.** О возрасте, перспективах золоторудной минерализации Унья-Бомского золотоносного узла Приамурья // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 63–71.

13. **Парфенов Л. М., Кузьмин М. И.** Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.

14. **Пересторонин А. Е.** Рудно-магматические системы золоторудных месторождений Приамурья // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: 4-я Всерос. науч. конф. (05–07 октября 2016 г., Благовещенск). Т. 1. – Благовещенск, 2016. – С. 19–22.

15. **Прогнозно-минерагеническая** карта Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1:2 500 000 / под ред. О. В. Петрова. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. – URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/atlas/prog-min>.

16. **Прогнозно-минерагеническая** карта Российской Федерации и ее континентального шельфа масштаба 1:2 500 000 / под ред. О. В. Петрова. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. – URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/atlas/prog-min>.

17. **Прогнозно-минерагеническая карта** России масштаба 1:2 500 000 как отражение прогнозно-поисковой эффективности региональных геологических исследований / О. В. Петров, А. Ф. Морозов, А. В. Молчанов и др. // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 70. – С. 5–16.

18. **Приамурская** золоторудная провинция / В. А. Степанов, А. В. Мельников, А. С. Вах и др. – Благовещенск: АмГУ, 2008. – 232 с.

19. **Смелов А. П., Зедгенизов Л. Н., Тимофеев В. Ф.** Алдано-Становой щит // Тектоника, геодинамика и металлогения Республики Саха (Якутия). – М.: Наука, 2001. – С. 81–104.

20. **Структура** и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского складчатого пояса и Сибирской платформы: профиль Сковородино – Томмот / А. Н. Диденко, А. С. Ефимов, П. А. Нелюбов и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 10. – С. 1583–1599.

21. **Тектоника**, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: объяснительная записка к тектонической карте масштаба 1:1 500 000 / Л. П. Карсаков, Чжао Чуньзин, М. В. Горошко и др. – Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. – 264 с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aleynikov A.L., Nemzorov N.I., Kashubin S.N. *Sposob opredeleniya tipa gornykh porod po seismicheskim dannym: avt.sv. SU 1642416 A1 kl. G 01 V1/30, 15.04.1991.* [Method for determining the type of rocks based on seismic data: auth.cert. SU 1642416 A1 cl. G 01 V1/30, 15<sup>th</sup> April, 1991]. (In Russ.).

2. Petrov O.V., ch. ed. *Geologicheskaya karta Rossii, uvyazannaya s materialami po stranam SNG. Masshtab 1:2 500 000.* [Geological map of Russia, being contingent with materials on the CIS countries. Scale 1:2,500,000]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2008. (In Russ.).

3. Kashubin S.N., Petrov O.P., Milshtein E.D., et al. [Deep structure of the Earth's crust and upper mantle in Northeastern Eurasia]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya – Regional Geology and Metallogeny*, 2018, no. 76, pp. 9–21. (In Russ.).

4. Krylov S.V., Mishenkin B.P., Mishenkina Z.R., et al. *Detalnyye seismicheskiye issledovaniya litosfery na P- i S-volnakh* [Detailed seismic surveys of the lithosphere using P- and S-waves]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993. 199 p. (In Russ.).

5. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Duchkov A.D., Liseykin A.V. [Deformation-strength zoning of the Earth's crust of the Altai-Sayan folded region]. *Problemy seismologii III tsysyacheletiya: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Problems of seismology of the 3<sup>rd</sup> millennium: Proceedings of the International Conference]. Novosibirsk, 2003, pp. 332–337. (In Russ.).

6. Polyanskiy P.O., Emanov A.F., Salnikov A.S., Zhabin V.V. [Dynamic conversion of head waves on the central part of the 3-DV profile: technique features and interpretation of time sections]. *Geofizicheskiye issledovaniya – Geophysical Research*, 2018, vol. 19, no. 2, pp. 5–33. (In Russ.).

7. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [To the use of transverse waves on reference profiles in the East of Russia]. *Interekspo Geo-Sibir-2015. Tom 2* [Interexpo Geo-Sibir -2015. Vol. 2]. Novosibirsk, SGUGIT Publ., 2015, pp. 243–247. (In Russ.).

8. Melnikov A.V., Stepanov V.A. [Analysis of productivity of ore-placer clusters of the Amur River gold-bearing province]. *4-ya Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya (5–7 oktyabrya 2016, Blagoveshchensk). Sbornik dokladov. Tom 1* [Issues of geology and integrated development of natural resources of East Asia. 4<sup>th</sup> All-Russian Scientific Conference (5–7 October, 2016, Blagoveshchensk). Vol. 1]. Blagoveshchensk, 2016, pp. 66–69. (In Russ.).

9. Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., et al. [A model for the formation of orogenic belts in Cen-



tral and Northeast Asia]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 2003, vol. 22, no. 6, pp. 7–41. (In Russ.).

10. Solovyev V.M., Salnikov A.S., Seleznev V.S., et al. [Depth structure features of the Eastern Stanovoy fragment of the 8-DV geological-geophysical survey – base line (according to the DSS data)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2020, no. 4, pp. 29–39. (In Russ.).

11. Solovyev M.V., Galeva N.A., Salnikov A.S., et al. [Peculiarities of the Transbaikalian seismic structure at the site of the base line 1-SB Vostochny on data of differently polarized P- and S- waves]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2019, no. 3(39), pp. 57–71. (In Russ.).

12. Ostapenko N.S., Neroda O.N. [The age, genesis and prospects of gold mineralization of the Unya-Bohm gold zone of the Amur region]. *Otechestvennaya geologiya*, 2018, no. 4, pp. 63–71. (In Russ.).

13. Parfenov L.M., Kuzmin M.I. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia)]. Moscow, MAIK Nauka/Interperiodika Publ., 2001. 571 p. (In Russ.).

14. Perestoronin A.E. [Ore-magmatic systems of gold ore fields of the Amur River region. Issues of geology and integrated development of natural resources of East Asia]. *Chetvertaya Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya (5–7 oktyabrya 2016, g.). Sbornik dokladov. Tom 1* [4<sup>th</sup> All-Russian Scientific Conference (October 5–7, 2016). Conference proceedings. Vol. 1]. Blagoveshchensk, 2016, pp. 19–22. (In Russ.).

15. Petrov O.V., ed. *Prognozno-mineragenicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii i ee kontinentalnogo shelfa masshtaba 1:2 500 000* [Prognostic-minerogenic map of the Russian Federation and its continental shelf on a scale of 1:2,500,000]. Moscow, VSEGEI Publ., 2006.

URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/atlas/prog-min>. (In Russ.).

16. Petrov O.V., ed. *Prognozno-mineragenicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii i ee kontinentalnogo shelfa masshtaba 1:2 500 000* [Prognostic-minerogenic map of the Russian Federation and its continental shelf on a scale of 1:2, 500,000]. Moscow, VSEGEI Publ., 2016. URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/atlas/prog-min>. (In Russ.).

17. Petrov O.V., Morozov A.F., Molchanov A.V., et al. [Prognostic-minerogenic map of Russia of scale 1:2,500,000 as a reflection of the prospecting efficiency of regional geological studies]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya – Regional Geology and Metallogeny*, 2017, no. 70, pp. 5–16. (In Russ.).

18. Stepanov V.A., Melnikov A.V., Vakh A.S., et al. *Priamurskaya zolotorudnaya provintsiya* [The Amur River region gold ore province]. Blagoveshchensk, AMSU Publ., 2008. 232 p. (In Russ.).

19. Smelov A.P., Zedgenizov L.N., Timofeev V.F. [Aldan-Stanovoy Shield]. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, Geodynamics and Metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia)]. Moscow, Nauka Publ., pp. 81–104. (In Russ.).

20. Didenko A.N., Efimov A.S., Nelyubov P.A., et al. [Structure and evolution of the Earth's crust in the region of junction of the Central Asian fold belt and the Siberian Platform: Skovorodino – Tommot profile]. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 10, pp. 1236–1249.

21. Karsakov L.P., Zhao Chunzong, Goroshko M.V., et al. *Tektonika, glubinnoye stroeniye, metallogeniya oblasti sochleneniya Tsentralno-Aziatskogo i Tikhookeanskogo poyasov: obyasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte masshtaba 1:1 500 000* [Tectonics, deep structure, and metallogeny of the junction zone of the Central Asian and Pacific belts. Explanatory note to the tectonic map on a scale 1:1,500,000]. Vladivostok, Khabarovsk, FEB RAS Publ., 2005. 264 p. (In Russ.).

© В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев,  
Т. В. Кашубина, Н. А. Галёва, 2022



## РОЛЬ ДРЕВНЕГО КАРСТА В ФОРМИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА (ГОРНАЯ ШОРИЯ)

Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

В качестве вмещающих пород месторождения Лабыш принято рассматривать мраморизованные известняки верхнего протерозоя. Формирование урановых руд в карбонатных породах не соответствует существующим представлениям о геохимии урановорудного процесса. Детальное изучение рудных жил месторождения показало, что карстовые полости первоначально были заполнены обломками известняков разного размера и тонкодисперсным каолинитом. В дальнейшем поступление термальных щелочных растворов привело к выщелачиванию кремнезема метаморфогенных силикатов известняков и образованию «кремнисто-смолковых» жил. Фактически породами, вмещающими оруденение, являются морфологически жильные осадочные хорошо проницаемые породы, по геохимическим свойствам приближающиеся к гидротермально измененным породам среднего состава.

**Ключевые слова:** Горная Шория, структуры и текстуры рудных жил, рудный карст.

## THE ROLE OF ANCIENT KARST IN THE FORMATION OF URANIUM DEPOSIT (GORNAYA SHORIYA)

G. I. Dyachenko, G. E. Aseev

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Marmorized limestones of the Upper Proterozoic are widely viewed as host rocks of the Labysh deposit. The formation of uranium ores in carbonate rocks does not correspond to existing concepts of the uranium ore process geochemistry. A detailed study of lode ores of the deposit showed that karst cavities were originally filled with limestone fragments of different sizes and finely-dispersed kaolinite. Further, an input of thermal alkaline solutions led to the leaching of earth silicon of metamorphogenic limestone silicates and formation of "silicinate –tar" veins. In fact, the rocks hosting mineralization are morphologically veined sedimentary well-permeable rocks with geochemical properties approximating to hydrothermally altered rocks of intermediate composition.

**Keywords:** Gornaya Shoriya, stuctures and texture of ore veins, ore karst.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-85-91

Лабышское месторождение расположено в Кемеровской области в 40 км к юго-востоку от административного центра района г. Таштагол (рис. 1), в Верхнекондомском рудном районе в центральной части Алтае-Саянской складчатой области (юг Кузнецкого Алатау, Горная Шория).

Месторождение открыто в 1960 г. при проверке бурением гидрохимической аномалии в верховья руч. Лабышонок, правого притока р. Кондома, в западном экзоконтакте Верхнекондомского гранодиоритового массива, в толще карбонатных пород верхнепротерозойского возраста.

Лабышское – одно из очень немногих урановых месторождений, руды которого локализованы в карбонатных породах. Это тем более странно, что в пределах рудного района урановая минерализация установлена в традиционных вмещающих породах. Здесь обнаружены рудопроявления Базас в амфиболитах, Березка в гранитах и Карагол в кремнисто-углистых сланцах и кварцитах (рис. 2). При этом продуктивность карбонатных пород Верхнекондомского рудного района в десятки раз выше, чем силикатных. Именно необычайная локализация уранового оруденения в карбонатных породах привлекла внимание научных организаций к небольшому месторождению. Всесторонние его исследова-

ния проводились группами Московского института цветных металлов, ВИМС, ВИРГ, ИГЕМ и ВСЕГЕИ.

С целью изучения закономерностей локализации оруденения, морфологии рудных тел, вещественного состава и технологических свойств руд на Центральном участке месторождения была пройдена шахта с двумя горизонтами (80 и 130 м от поверхности) подземных горных выработок в комбинации со скважинами наземного и камерно-алмазного бурения.

Урановое оруденение слагает линзо-, жило- и столбообразные рудные тела протяженностью до 400 м при мощности от десятков см до 15 м. Руды высококонтрастные, содержание в них урана от 0,03 до 4,0 %, в отдельных штуфах – 10–15 %. Основной рудный минерал – урановая смолка, в зоне окисления описаны урановые черни [1].

Простирание рудных жил в целом широтное с отклонением к северу на 15–20°, субпараллельное осевой части Казаныхской депрессии, расположенной в 15 км севернее.

Рудный материал жил однородный черного цвета с раковистым изломом, царапает стекло. При документации керн первых скважин высококоррадиоактивные жилы получили название «кремнисто-смолковые». При выветривании материал жил



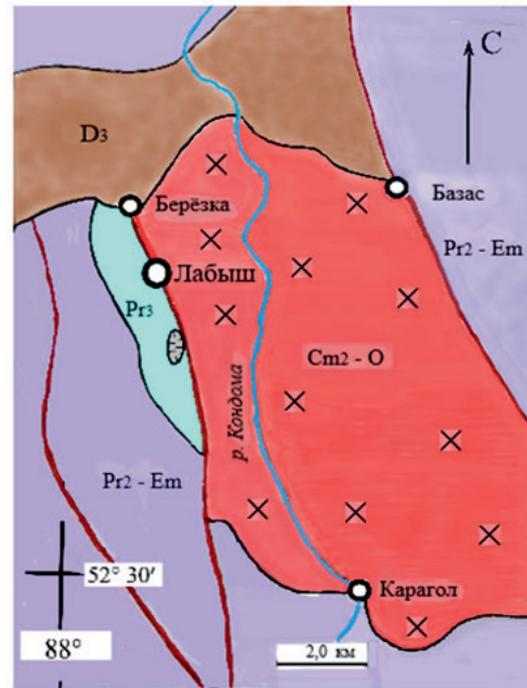
**Рис. 1.** Положение месторождения Лабьш  
1 – месторождение Лабьш; 2 – административные границы; 3 – речная сеть

приобретает бурый цвет различной плотности. При этом в осветленном материале хорошо просматриваются структурно-текстурные особенности строения жильного выполнения.

Мощность рудных жил резко изменяется по падению и простираюнию (рис. 3). Наиболее мощные рудные раздувы образованы несортированным обломочным материалом размером от 1,0 до 10–15 см в матрице разнозернистого песчаника и алеврита (рис. 4). В составе обломков преобладают разнообразные известняки, отмечены кварциты, черные сланцы, жильный крупнокристаллический кальцит. Их размер увеличивается при увеличении мощности жил. В жилах мощностью более 2 см обычно присутствуют обломки двух классов крупности: 0,1–1,0 мм и 1,0–2,0 см, в раздувах – более 10 см. Обломки остроугольные, реже изометричные. По составу преобладают обломки известняков (80–90%), наблюдаются обломки кальцита, кварцитов и черных сланцев. Большинство обломков известняков аналогичны вмещающим, но присутствуют и «чужеродные», отличающиеся по цвету или степени раскристаллизации. Аналогичные структуры и текстуры описаны у материала, заполняющего полости карбонатного карста [1, 3, 4].

Практически во всех жилах мелкообломочный материал замещается халцедоновидным кварцем, реже опалом. Только рудные просечки мощностью доли миллиметра и стилолиты сложены мономинеральной урановой смолкой.

Вертикальная зональность жил обусловлена симметричным нарастанием кристаллического



**Рис. 2.** Карта-схема Верхнекондомского рудного района  
1 – живетский ярус среднего девона: красноцветные песчаники, алевриты, гравелиты; 2 – верхний протерозой – нижний кембрий: эффузивы и туфы разного состава, сланцы; 3 – верхний протерозой: известняки, доломиты, черные сланцы; 4 – гранодиориты; 5 – месторождение (а), рудопоявления (б); 6 – проявление карста; 7 – региональные разломы; 8 – речная сеть

кальцита на стенки трещин; горизонтальная – по-слойным расположением обломочного материала разной размерности; мощность слоев от долей миллиметра до 1,0 см.

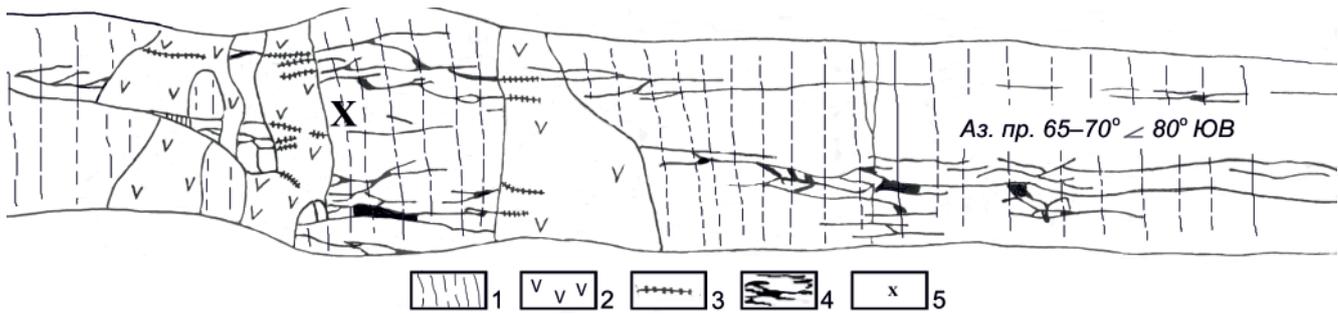
В большинстве случаев слои прогибаются. Изгиб плавный от контактов к центру.

Распределение обломочного материала в жилах позволяет выделить три текстурных разновидности: массивные, вертикально- и горизонтально-слоистые (рис. 4–7)

В жилах мощностью менее 2–3 см все обломки полностью замещены халцедоновидным кварцем. При этом первичные структурно-текстурные особенности строения жильного материала сохраняются и хорошо просматриваются при косом освещении в полированных шлифах и образцах, подвергшихся выветриванию.

Таким образом, структурно-текстурные особенности и состав рудных жил показывают, что их формирование происходило в два этапа. Сначала шло заполнение открытых полостей разноразмерными обломками вмещающих пород, главным образом известняков, и продуктами химического выветривания (минералы глины). В дальнейшем материал, заполнивший открытые трещины, замещался халцедоновидным кварцем и рудными минералами.

На месторождении не задокументировано ни одного случая пересечения рудными жилами даек диоритовых порфиритов. Рудные жилы прослежи-



**Рис. 3.** Литологический контроль оруденения: рудные жилы развиваются только в мраморизованных известняках. Документация кровли выработки 1-2, 543–560 м

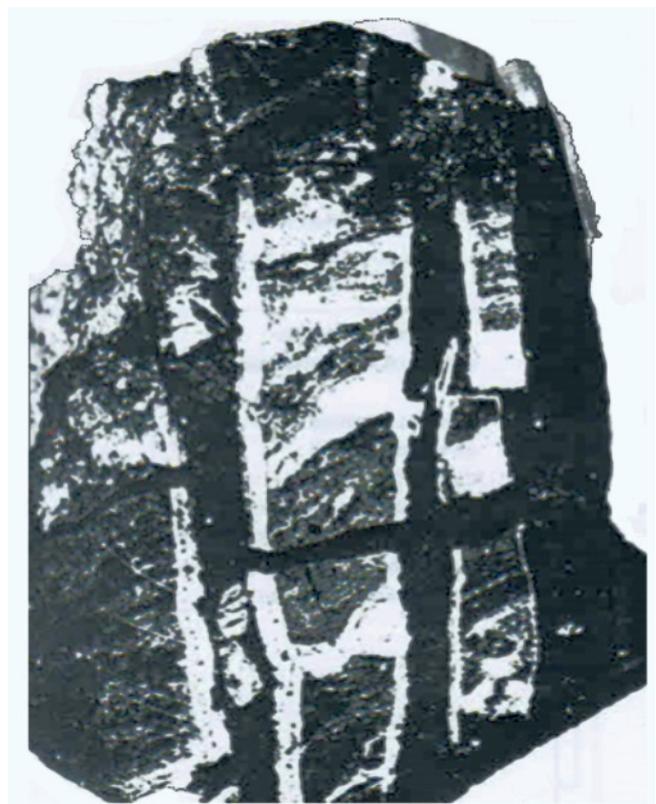
1 – мраморизованные известняки; 2 – дайки диоритовых порфиритов; 3 – карбонатные прожилки; 4 – кремнисто-смольковые жилы; 5 – место отбора пробы



**Рис. 4.** Рудная жила массивной текстуры обломочной разнозернистой структуры. Фото обр. Л-21 (вверху) и радиография в течение 10 ч (внизу). Место отбора образца см. на рис. 3

ваются с двух сторон даек без смещения (см. рис. 3). Не выявлено оруденения на западе месторождения в белых мелкозернистых доломитизированных известняках.

В рудах месторождения установлено свыше 30 минералов. Большая часть из них встречается редко и образует выделения размером не более 0,1–0,5 мм. Жильные минералы представлены халцедоном (халцедоновидным кварцем), карбонатом (кальцитом, железистым и магниезальным карбонатом), каолинитом (редко галлуазитом). Содержание  $C_{орг}$  в рудах обычно не превышает сотых долей процента. Установлено самородное золото (1 зерно). В 11 из 50 проанализированных проб жильного ма-



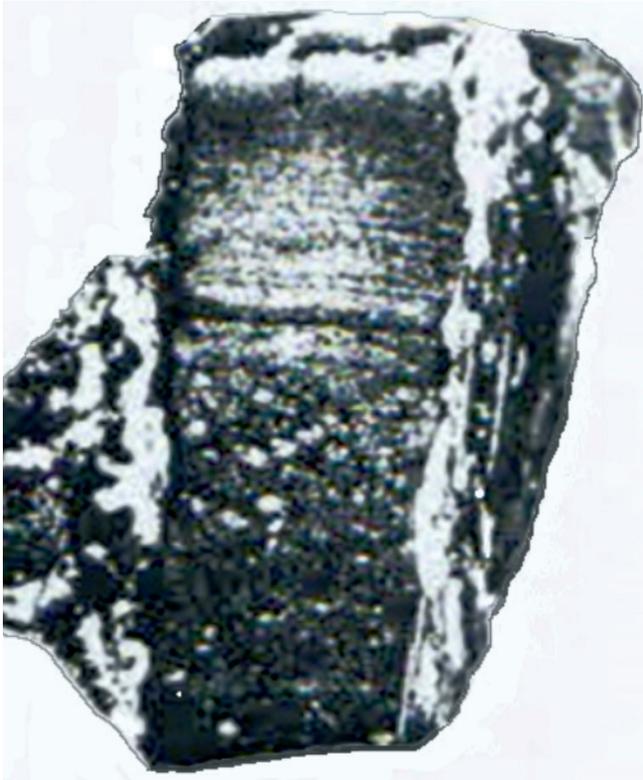
**Рис. 5.** Вертикально-зональная рудная жила. Обломочный материал массивной текстуры, выполняющий центральную часть жилы и секущий кальцит оторочек. Фото обр. Л-62. Выработка 2-1-2

териала содержание золота составляет тысячные – сотые доли грамма на тонну.

Выделены три ассоциации урановой смолки.

1. Наиболее распространенная ассоциация *халцедон-молибденит-настурановая*. Халцедоновидный кварц образует волокнистые и сферолитовые агрегаты, содержащие мельчайшие выделения молибденита и урановой смолки. Более крупные (до десятых долей миллиметра) выделения смолки неравномерно распределены в халцедон-каолиновом агрегате или приурочены к контактам жильного материала с вмещающими известняками и их обломками.

2. *Карбонат-мышьяк-настурановая* ассоциация наиболее широко представлена в карбонат-смольковых жилах и наиболее крупных раздувах



**Рис. 6.** Горизонтально-слоистая рудная жила. Размер обломков и слоев уменьшается снизу вверх. Фото обр. Л-63. Выработка 2-1-2-1

рудных жил. Тонко- и мелкозернистый карбонат интенсивно корродирует кальцит обломков и вмещающих пород. Его состав изменяется от слабо магнезиального кальцита до железистого доломита и анкерита. В карбонате относительно равномерно распределены неправильные, реже почковидные выделения самородного мышьяка. Иногда присутствуют идиоморфные кристаллики пирита, на которых отлагается настуран в виде корочек мощностью до 0,1 мм. Основная часть настурана образует обособления неправильной формы. Ветвящиеся выделения смолки прослеживаются по контакту рудных жил с вмещающими известняками или рассеяны в массе жильного материала.

3. Керит-хлоантит-настурановая ассоциация развита крайне ограниченно и выявлена только на западном фланге месторождения. В одиночных штуфах обнаружены скопления керита размером до 3,0×5,0 см, содержащие корродированные почки и удлиненные обломки урановой смолки, диарсениды никеля и кобальта размером десятые доли миллиметра.

Околорудные изменения мраморизованных известняков визуальными практически не устанавливаются. Полный химический анализ показывает снижение содержания кремнезема в известняках с фоновых 1,5–2,0 % до 0,5 % на расстоянии до 1,0 м от наиболее мощных рудных жил. Борздовое опробование штокеркового рудного тела мощностью 3,5 м при содержании урана 0,5–1,7 % и плотности кремнисто-смолоквых жил 10–20 на 1 м не пока-



**Рис. 7.** Кремнисто-смолоквая жила поперечно-ритмичной текстуры. Фото аншлифа Л-183. Выработка 4-1-1

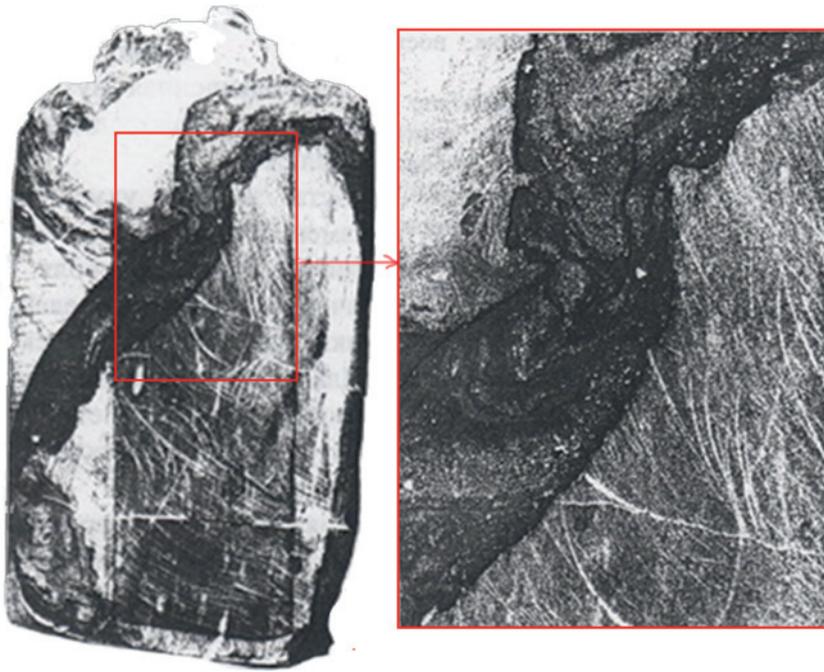
зало повышения содержаний кремнезема в рудном пересечении. Средневзвешенные содержания кремнезема в материале штокерка при плотности 10–15 жил на 1 м составило 1,4 % по шести борздовым пробам относительно вмещающих известняков: южный борт 2,1 % по четырем пробам и северный 1,8 % по трем (выработка 1-2-11-1-2).

Перераспределение кремнезема устанавливается и при изучении шлифов: в прижильных известняках почки и прожилки халцедоновидного кварца корродируют кальцит. При удалении на 10–50 см от рудных жил метаморфогенные силикаты отчетливо корродируются карбонатом.

В дайках отмечается слабое (до 12–20 мкР/ч) повышение радиоактивности; при этом полевые шпаты каолинизируются, темноцветные минералы замещаются хлоритом. Аналогичные изменения сопровождают бедное (до 0,03–0,05 % урана) оруденение в гранитоидах на востоке рудного поля.

Уже отмечалось, что руды месторождения формировались в результате замещения обломочного материала, заполнившего трещины и полости. Дайки, образованные обломочным материалом, называют по-разному в зависимости от их происхождения: нептунические, кластические, инъекционные и т. п. В дальнейшем будем использовать термин «экзожилы» как соответствующий размерам изучаемых образований и приповерхностным условиям их формирования. На рис. 8 приведена фотография керна скважины вскрывшей экзожилу карстового проявления р. Малая Кондома.

Положение рудных тел, субпараллельных осевой линии депрессии, позволяет предполагать, что приоткрывание трещин, их заполнение обло-



**Рис. 8.** Ритмично-полосчатая алеврит-песчаная экзожила каолинит-карбонатного состава в мелкозернистых мраморизованных известняках серого цвета. Проявление карста р. Малая Кондома, скв. 1352, 238 м. Фото обр. М.К.–42

мочным материалом происходило одновременно с формированием депрессии. Неравномерное поступление пластичного материала в приоткрывающиеся трещины «отпора» привело к образованию слоистых текстур, сформированных слойками разной мощности. Под действием накопившегося осадка слойки прогибались (см. рис. 7). Реже в трещинах, перекрытых обломками пород, в условиях спокойного гидродинамического режима формировались специфические структуры, в которых слоистость перпендикулярна стенкам, а размер обломков уменьшается сверху вниз (см. рис. 6). Абсолютная пористость экзожил (8,0–24,0 %) существенно выше, чем вмещающих мраморизованных известняков (2,1–6,8 %); выше и открытая пористость (9,6–23 и 0,72–1,82 % соответственно). В дальнейшем при диагенезе объем колюматизирующего материала уменьшался и отслаивался от стенок трещин; так формировались вертикально-зональные жилы, что существенно повышало проницаемость структуры.

Таким образом, текстуры рудных жил не связаны с процессом рудообразования и являются реликтовыми.

Не установлено оруденение и в доломитизированных известняках на западном фланге месторождения. В доломитах и доломитизированных известняках региона не развиваются и безрудные экзожилы. По-видимому, это обусловлено более низкой растворимостью магнийсодержащих карбонатов по сравнению с кальцитом и образованием доломитовой муки, колюматизирующей трещины и затрудняющей развитие карста.

Материал экзожил по содержанию породообразующих элементов приближается к карбонатизированным породам среднего состава и резко отличается от вмещающих известняков. Так, по результатам химического анализа матери-

ала экзожил, очищенного от видимых обломков карбонатов, содержание в них окислов основных породообразующих элементов изменялось в следующих пределах (%):  $\text{SiO}_2$  34–50,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12,5–22,8,  $\text{K}_2\text{O}$  0,4–2,6,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,3–5,7,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,7–7,9. Всего проанализированы 24 пробы карстового проявления из трех скважин.

Выщелачивание натрия и калия при формировании окolorудных изменений в гранитах и дайках показывает, что рудоносные растворы имели кислую реакцию. О низком режиме серы свидетельствует широкое развитие в рудах самородного мышьяка, а также пирротина, никелина и хлоантита. Присутствие в рудах молибдена, свинца и цинка, а также золота может быть связано с наличием в пределах рудного поля молибденитсодержащих кварцитов, карбонатных жил с галенитом и сфалеритом, а также отработанной золотой россыпи.

В литературе, посвященной проблемам рудогенеза, часто указывается, что урановая минерализация завершает рудообразование.

Об истинном характере растворов свидетельствует их продвижение на сотни метров по трещинам, заполненным мелкообломочным материалом.

Фильтрация гелевых растворов в таких условиях невозможна. Температура при рудоотложении составляла, по-видимому, 100–150 °С.

По данным Т. М. Кайковой, температура образования кварца, ассоциирующего с урановой смолкой, равна 150–170 °С. Г. М. Комарницкий приводит температуру образования настурана 218–223 °С. Определение проводилось методом декрипитации и, возможно, полученные значения несколько завышены. По опубликованным данным [6], образование самородного мышьяка характерно для гидротермальных низкотемпературных близповерхностных месторождений.



На восходящее движение рудных растворов указывает наличие бедного оруденения на глубинах свыше 500–600 м от современной поверхности, т. е. ниже уровня развития экзожил и ниже базиса древней зоны карстообразования – основания Кананской депрессии.

По мере продвижения к поверхности и снижения давления потеря углекислоты сопровождалась повышением pH растворов и выщелачиванием кремнезема метаморфогенных акцессориев известняков. Таким образом, в результате двух взаимосвязанных процессов (дегазация растворов и выщелачивание кремнезема) снизился режим щелочей и углекислоты и стало возможным отложение настурана в кремнисто-смолковых жилах. Параллельно происходило замещение минералов экзожил: галлуазит и бемит замещались дикситом, магний-кальциевые силикаты карбонизировались, полевые шпаты каолинизировались. Широкое развитие тонкодисперсного настурана в кварц-халцедоновом агрегате свидетельствует об их одновременном образовании и может служить подтверждением нейтрализации растворов при рудоотложении.

В результате изучения вещественного состава руд и структурно-текстурного анализа рудных жил установлено следующее.

1. Структуры и текстуры ураново-рудных жил и карстовых экзожил аналогичны.

2. Открытая и общая пористость экзожил существенно выше, чем вмещающих мраморизованных известняков.

3. Рудные жилы выклиниваются симметрично с двух сторон даек, не пересекая их; оруденение весьма ограничено развито в силикатных породах и доломитизированных известняках.

4. В составе руд (жильного материала) могут быть выделены две группы минералов:

– устойчивые и образующиеся при выветривании алюмосиликатных пород, а также характерные для нерастворимого остатка мраморизованных известняков (минералы глин, рутил, браннерит, циркон и др.);

– типичные для низкотемпературных приповерхностных урановых месторождений (самородный мышьяк, иордезит, марказит, халцедон и др.).

5. Снижение содержания кремнезема в известняках соответствует его накоплению в рудных жилах.

## Выводы

1. Урановое оруденение Лабышского месторождения формировалось в осадочных жильных породах (экзожилах), по геохимическим свойствам приближающихся к гидротермально измененным диоритовым порфиритам.

2. Положение месторождения в поле известняков определено высокой проницаемостью экзожил, не подвергшихся метаморфизму.

3. Основным процессом рудоотложения была дегазация термальных углекислых растворов при их буферном взаимодействии с вмещающими известняками.

4. Наличие в карстовых образованиях золота, даже редких находок и при низких содержаниях, указывает на возможность наличия в Горной Шории месторождений типа Куранахского (Якутия).

В заключение необходимо отметить, что карстовые образования вообще и экзожилы в частности развиты гораздо шире, чем обычно принято думать, и что карстовые формации способны значительно повысить прогнозируемые запасы месторождений [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов В. С., Воробьев В. А., Журавлев Е. А. Выявление карстовых и суффозионно-карстовых объектов по материалам космических съемок центральной части Восточно-Европейской платформы // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. – 2016. – Вып. 4. – С. 4–16.

2. Домаренко В. А., Воробьев Е. А., Мазуров А. Х. Основные результаты и перспективы развития геологоразведочных работ на радиоактивное сырье в Центрально-Сибирском регионе // Изв. ТПУ. – 2009. – Т. 31, № 1. – С. 92–96.

3. Казаков П. В. Погребенный заполненный карст и особенности формирования (или разубоживания) в нем месторождений полезных ископаемых (на примере Северного, Южного Урала и Приуралья) // Геология. Известия. Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. – 2017. – № 24. – С. 65–69

4. Карст в земной коре: распространение и основные типы / под ред. И. Т. Бакуменко. – Новосибирск: ОИГГИМ СО АН СССР, 1992. – 76 с.

5. Кутырев Э. И., Ляхницкий Ю. С., Михайлов Б. М. Недр: Карстовые месторождения. – Л.: Недр, 1989. – 311 с.

6. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания / пер. с нем. под ред. А. Г. Бетехтина. – М.: ИЛ, 1962. – 1132 с.

## REFERENCES

1. Antipov V.S., Vorobyev V.A., Zhuravlev E.A. [Identification of karst and karst-suffosion features on satellite imagery in the central part of East European platform]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya – Vestnik of Saint Petersburg University, series 7. Geology. Geography.* 2016, issue 4, pp. 4–16. (In Russ.).

2. Domarenko V.A., Vorobyev V.A., Mazurov A. Kh. [Basic results and prospects of development of prospecting works on radioactive raw-material in Central-Siberian region]. *Izvestiya Tomskogo pplitkhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk State University*, 2009, vol. 314, no. 1, pp. 92–96. (In Russ.).

3. Kazakov P.V. [Buried filled karst and features of formation (or impoverishments) of mineral depos-



its in it (at the example of the Northern, Southern Urals and Cis-Urals]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnym resursom AN RB – Geology. The Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2017, no. 24, pp. 65–69. (In Russ.).

4. Andreychuk V.N., Dublyansky Y.V., Ezhov Yu.A., Lysenin G.P. *Karst v zemnoy kore: rasprostraneniye i os-*

*novnyye tipy* [Karst in the Earth's crust: distribution and the main types]. Novosibirsk, UIGGM SB AS USSR Publ., 1992. 76 p. (In Russ.).

5. Kutyrev E.I., Lyakhnitsky, Mikhaylov B.M. *Karstovyye mestorozhdeniya* [Karst deposits]. Leningrad, Nedra Publ., 1989. 311 p. (In Russ.).

6. Ramdor P. *Rudnyye mineraly i ikh srastaniya* [Ore minerals and their intergrowths]. Moscow, IL Publ., 1962. 1132 p. (In Russ.).

© Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев, 2022



УДК 551.432:551.24

## ЭТАЛОННАЯ СЕТКА РАЗЛОМОВ ЗЕМЛИ И ЕЕ ОТРАЖЕНИЕ В НАПРАВЛЕНИИ И КОНФИГУРАЦИИ РУСЕЛ РЕК

П. П. Нагевич, Е. В. Сергеева, Г. И. Карпизина

Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Ташкент, Республика Узбекистан

Изложена гипотеза первого автора об эталонной сетке планетарных разломов Земли, отражающих положение разрывных нарушений регионального и локального уровней. Она определяла всю геологическую жизнь Земли в течение 4,5 млрд лет. Сетка представлена разломами субширотного (СЗ 193° – ЮВ 113°; ЮЗ 246° – СВ 66°) и субмеридионального (ЮВ 169° – СЗ 349°; ЮЗ 191° – СВ 11°) ориентирования. Основные ее направления отражены в положении и конфигурации русел магистральных рек, что подтверждается анализом планового изображения рек различных континентов Земли. Расшифровка и прослеживание разломов по конфигурации речных русел позволяет проследить их положение в междуречных пространствах и гипотетически оценить возможность обнаружения рудных месторождений, приуроченных к зонам этих разломов.

**Ключевые слова:** универсальная сетка, планетарные разломы субширотные, субмеридиональные, конфигурация рек.

## REFERENCE GRID OF EARTH FAULTS AND ITS REFLECTION IN THE DIRECTION AND CONFIGURATION OF RIVERBEDS

P. P. Nagevich, E. V. Sergeeva, G. I. Karpizina

Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Tashkent, the Republic of Uzbekistan

The article presents the author's hypothesis (2014) about the reference grid of planetary faults of Earth, which also reflect the position of disjunctive dislocations at regional and local levels. It has been determining the entire geological life of Earth for 4.5 billion years of its existence. The grid is represented by faults of sublatitudinal (NW 193° – SE 113°; SW 246° – NE 66°); and submeridional (SE 169° – NW 349°; SW 191° – NE 11°) orientation. Main directions of the fault grid are reflected in the position and configuration of the main riverbeds of the globe, that is confirmed by the analysis of river planimetric images in various continents of Earth. Decoding and tracing faults by the configuration of riverbeds allows researchers to trace their position in interfluvial spaces and hypothetically assess the possibility of finding ore deposits confined to the zones of these faults.

**Keywords:** reference grid, planetary sublatitudinal submeridional faults, river configuration.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-92-98

В XX в. сложилось твердое убеждение в наличии сетки глубинных планетарных разломов Земли. Основателем учения о планетарных разломах (линеаментах) является У. Хоббс (1911 г.). Его идеи в последующем развиты в работах А. В. Пейве, В. Е. Хаина, Р. Зондера, Н. С. Шатского, Е. Н. Пермьякова, Н. Бутакова, П. Бланше, Дж. Д. Муди, М. Халла, Г. Н. Каттерфельда, Г. Джефферса, М. В. Стоваса, В. Н. Шолпо, Е. Е. Милановского, Д. В. Рунквиста, В. П. Гаврилова, Е. П. Дубинина, И. И. Чебаненко и др.

Глубинными геофизическими (сейсмическими) исследованиями были прослежены стационарные зоны разуплотнений, протягивающиеся из нижней мантии (и даже от ядра) к современной поверхности (А. С. Воронов [1, с. 138–150], Г. Н. Каттерфельд [1, с. 104–131], М. В. Стовас [17, с. 222–274], В. А. Цареградский [17, с. 149–221]).

Практически всеми учеными было признано существование региональных и глобальных разломов диагонального, субмеридионального и субширотного направлений и определена связь разломных зон с ротационными эффектами, существующими на протяжении всего времени существования нашей планеты [1, 17].

Возникновение планетарной системы глубинных разломов интерпретировалось специалистами по-разному. Одни (Дж. Д. Муди, М. Халл, 1956 и др.) полагали, что это результат действия сжимающих усилий, направленных от полюсов к экватору, которые привели к изменению фигуры Земли. В. Е. Хаин (1994) основной причиной образования глобальной регматической сети считал проявления горизонтального растекания восходящих конвективных потоков в мантии Земли, линии которых могут быть ориентированы относительно стран света.

Б. Личков, В. Цареградский, В. Наливкин, Г. Лунгерсгаузен, Ю. Малиновский и др. придерживаются мнения, что все большие реконструкции на Земле определяются космические процессы. Прослежена геохронология земных геологических событий в увязке с сидерическим галактическим годом (216 млн лет [2–6]), который представляет собой время обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики.

Большинство исследователей считают, что планетарная трещиноватость Земли связана с деятельностью планетарных разломов и формировалась под влиянием ротационных сил, вызванных ее вращением.



Скорость вращения Земли определяет интенсивность проявления ротационных сил, формирование регматической сети разломов и изменяется в геологическом времени. В. А. Епифановым отмечено, что «при уменьшении скорости вращения планеты ее форма стремится к шару, и при этом в высоких широтах ( $\approx 60\text{--}70^\circ$ ) земная кора испытывает напряжения и деформации сжатия, а ближе к экватору (критические 35-е параллели) – растяжения. И наоборот – при ускорении вращения Земля стремится к форме эллипса, и в зоне критических 60-х параллелей наблюдаются напряжения и деформации растяжения, а в приэкваториальных областях – сжатия».

Еще в 1950–1970-е гг. появились публикации на основе статистических обработок замеров направлений (азимуты) разрывных нарушений в виде роз-диаграмм зон трещиноватости отдельных территорий Земли. Так, И. И. Чебаненко [18] пришел к выводу, что все древние и современные горные образования состоят из линейных зон (полос) двух основных направлений: северо-запад ( $350\text{--}310^\circ$ ) и северо-восток ( $35\text{--}40^\circ$ ).

П. С. Воронов [1, с. 138–150] на примере северных континентов и Антарктиды выделил шесть систем простираения разломов (линеаментов):  $270^\circ(90^\circ)$ ,  $305^\circ$ ,  $325^\circ$ ,  $360^\circ(0^\circ)$ ,  $35^\circ$ ,  $55^\circ$ .

Разнообразие направлений планетарной трещиноватости приводится в статьях ученых ЛГУ. Т. В. Николаевой для Украинского и Балтийского щитов установлены направления СВ  $20\text{--}44^\circ$ , СЗ  $275\text{--}322^\circ$ , для Западной Монголии – СВ  $60\text{--}70^\circ$ , СЗ  $320\text{--}340^\circ$ ; Р. Н. Баяевой для того же региона: СВ  $60\text{--}75^\circ$ ; М. И. Поповым для Ангаро-Виллюйской зоны Сибири – ССЗ  $10\text{--}20^\circ$ , СВ  $40\text{--}60^\circ$ , З  $270\text{--}280^\circ$ , СЗ  $310\text{--}320^\circ$ .

Ю. А. Морозов [7] отметил, что в пространственных ориентировках линейных подвижных поясов разного возраста и местоположения на всех континентах планеты имеются характерные доминирующие направления – субширотное, субмеридиональное и два сопряженных с ними диагональных, которые ориентированы относительно географических координат.

В последние годы в работах В. М. Анохина (2015) и др. установлены основные направления планетарных разломов для территорий с континентальной и океанической корой, которые или близки основным элементам ортогонально-диагональной сети (ССВ  $0\text{--}5^\circ$ , СВ  $41\text{--}45^\circ$ , ВСВ  $86\text{--}90^\circ$ , Ю  $135^\circ$ ), или соответствуют им.

В целом универсальная (эталонная) сетка разломов так и не установлена. Твердая убежденность ученых в ее наличии, как и разнообразие направлений планетарной трещиноватости и неуверенность в ее реальном положении оставляют за исследователями право продолжать поиски в этом направлении.

В развитие имеющихся знаний авторами предложена сеть эталонных региональных и локальных разломов. Предполагаемое положение разломов

приведено на геолого-тектонических картах Узбекистана и земного шара [8, 13]. Также изучено положение зон трещиноватости на крупномасштабных картах месторождений полезных ископаемых [9, 10].

Согласно разработкам авторов [8–16], в большинстве случаев наиболее четко на геологических картах и космоснимках различных участков Земли прослеживаются разломы следующих эталонных направлений (рис. 1):

– с СЗ  $293^\circ$  на ЮВ  $113^\circ$  и с ЮЗ  $246^\circ$  на СВ  $66^\circ$  (либо пересекаются под углом  $46^\circ$ , либо линия простираения каждого разлома отстоит на  $23^\circ$  от широтного направления);

– с ЮЗ  $191^\circ$  на СВ  $11^\circ$  и с ЮВ  $169^\circ$  на СЗ  $349^\circ$  (либо пересекаются под углом примерно  $22^\circ$ , либо линия простираения каждого разлома отстоит приблизительно на  $11^\circ$  от меридионального направления).

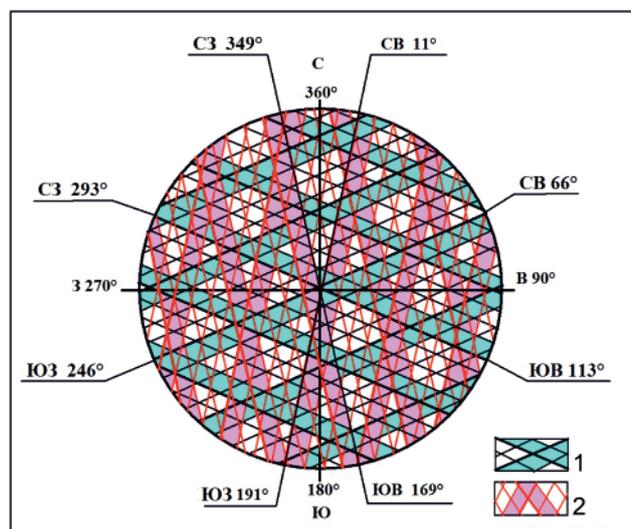


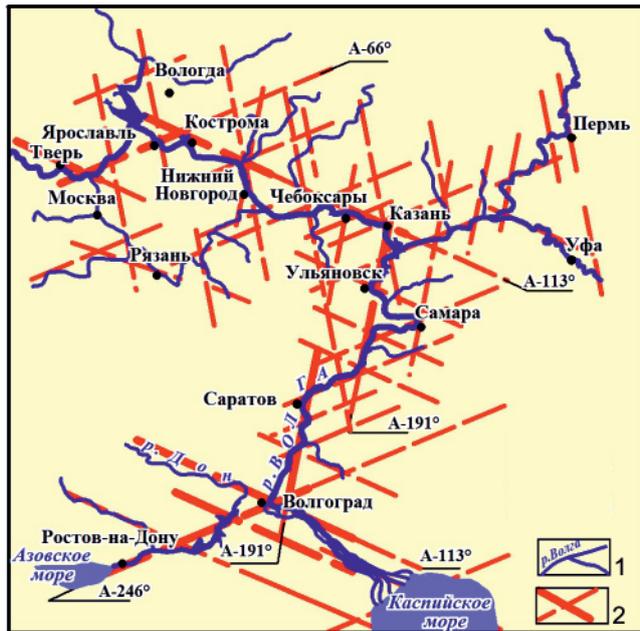
Рис. 1. Условная схема положения сетки эталонных планетарных глубинных разломов субширотного (1) и субмеридионального (2) направления

По предположению авторов, субширотное направление разломов обусловлено углом наклона плоскости любой широты, в том числе и экватора, к плоскости эклиптики ( $23^\circ 26,5'$ ). Субмеридиональное направление разломов ориентировочно увязывается с положением магнитных полюсов, которые смещены относительно географических на  $11\text{--}12^\circ$ .

Принимая во внимание прецессию земной оси и ее нутации, свидетельствующие о непостоянстве угла наклона земной оси к плоскости эклиптики и об изменении положения самой оси относительно полушарий с цикличностью один оборот примерно за 25920 лет, в настоящее время убедительных объяснений такой связи мы пока не обнаружили.

Наряду с направлениями (азимутами) отмечаются некоторые особенности распространения и «жизни» глубинных планетарных разломов [16].

Фиксируемые в любой точке земного шара пересекающиеся разломы проявлялись в разное геологическое время и в разные тектонические эпохи,



**Рис. 2.** Проявления сетки эталонных разломов в конфигурации русел рек европейской части России  
1 – русла главных рек и их притоков; 2 – условные положения разломов, соответствующих эталонной сетке планетарных разрывных нарушений Земли

последовательно сменявшие друг друга. Каждому разлому субширотного простираения сопутствует серия пересекающих его субмеридиональных, т. е. их действие в период активности проявляется по паре разнонаправленных разломов одновременно или последовательно. Направления разломов западного и восточного полушарий в один и тот же тектонический цикл являлись антиподами: если на востоке они имели, например, северо-восточное направление, то на западе – юго-восточное и наоборот, при этом сохранялся стабильный угол наклона разломов относительно любой широты (в пределах 23–24°).

Анализ большого количества геологической информации показал, что даже древнейшие до-рифейские разломы, перекрытые плащом осадков большой мощности, хорошо прослеживаются через их толщу, отражаясь в геологических структурах, литологии отложений, а также в рельефе и гидрографии на поверхности Земли. Это свидетельствует об унаследованности древнейших разломов и их частичном обновлении в более поздние этапы тектонического развития территории [13].

Данная статья ориентирована на подтверждение гипотезы о существовании покрывающей земную поверхность эталонной сетки разломов на основе анализа ее отражения в направлении и конфигурации русел магистральных рек различных континентов Восточного и Западного полушарий.

Тектоника в положении русел рек проявляется следующим образом.

Остановим внимание на анализе одного из косвенных признаков – проявлении и отражении

тектонической деятельности в направлениях и конфигурациях прямолинейных участков русел некоторых магистральных рек.

Эталонная сетка разломов выражается в конфигурации русел рек на большей части территории земного шара, будучи отражением геологического строения и тектоники любой территории. Это может быть подтверждено анализом положения русла р. Волга в европейской части России. Влияние разломов распространяется на направление и конфигурацию ее русла.

Так, р. Волга в своих истоках на Валдае собирает родниковый сток по эталонному субширотному разлому северо-восточного направления, переходя затем на аналогичный разлом юго-восточного направления. Их пересечение эталонным субмеридиональным разломом юго-западного направления соответственно изменяет положение русла реки на расстоянии от Казани до Волгограда, а ниже, уже в низовьях реки положение русла контролируется разломами эталонного юго-восточного направления. Этот разлом обеспечил максимальное приближение к Волге другой крупной реки – Дона, едва не ставшего ее притоком. Однако наличие эталонных субмеридионального (A-191°) и субширотного (A-246°) разломов способствовало повороту русла р. Дон по юго-западному субширотному разлому в сторону Азовского моря (рис. 2).

Проявления тектоники в конфигурации русел рек наблюдаются не только в Европе, но и на других территориях.

Анализ положения и конфигурации русла р. Обь в Азии (рис. 3, а) показал, что в верховьях до г. Барнаула река подчиняется субмеридиональному эталонному разлому северо-северо-западного направления. При пересечении ее русла с субширотным разломом северо-западного направления она резко поворачивает на северо-запад и далее идет до пересечения с субмеридиональным разломом северо-восточного направления, который проходит через Новосибирск. От Новосибирска она меняет направление на северо-восточное, ниже по течению контролируется разломами северо-западного направления и лишь ниже г. Сургута меняет свое положение на региональное юго-западное и далее на региональное северо-западное. При приближении к устью ее направление подчиняется субширотному северо-восточному разлому.

В основном на протяжении русла прослеживаются направления эталонной сетки разломов. Исключение составляют отдельные участки русел, направление которых не совпадает с отображенной на рис. 1 сеткой. Так, наблюдается несоответствие субпараллельных отрезков долин р. Иртыш к юго-востоку от Омска и участком Оби и Томи от Томска до Нарыма, как и юго-западных притоков Иртыша – рр. Тобол и Ишим. Примеры подобных несоответствий могут встречаться и на других участках долин рек различных континентов.

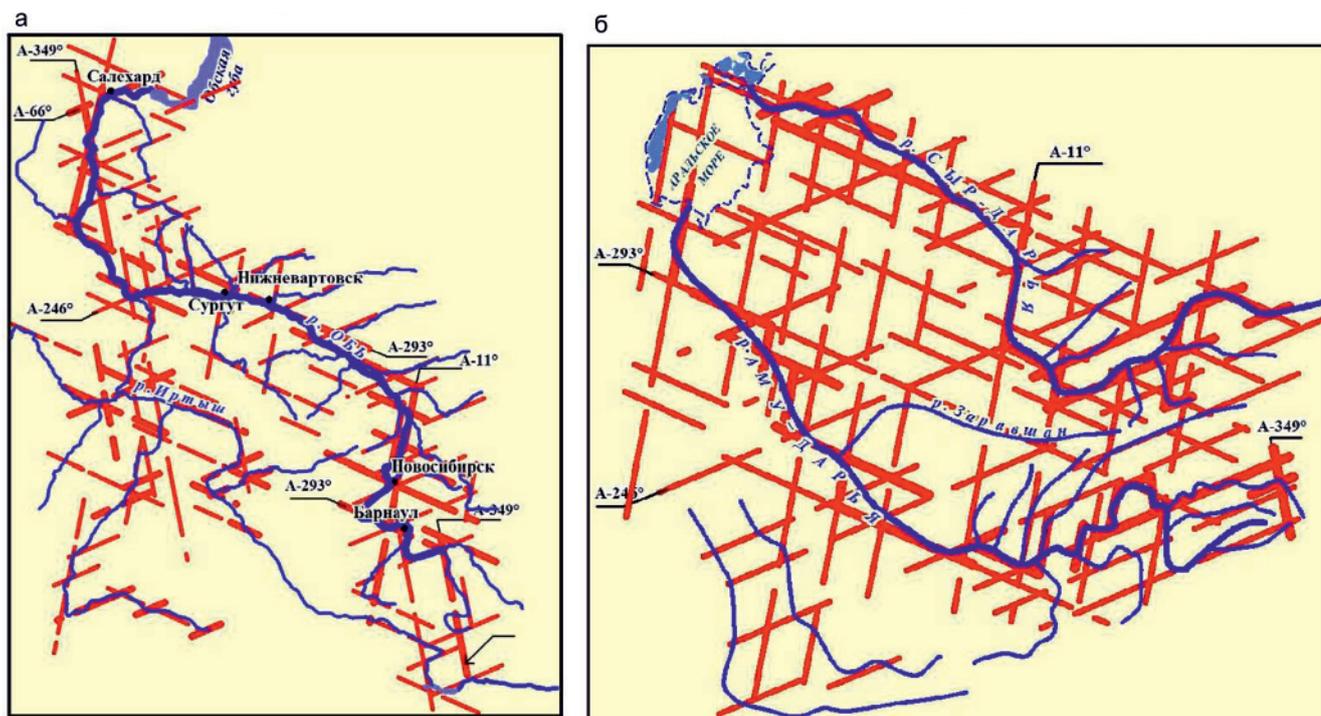


Рис. 3. Проявления сетки эталонных разломов в конфигурации русел рек: а – Азии; б – Центральной Азии  
Усл. обозн. см. на рис. 2

Можно предположить, что это несоответствие направлений русла с азимутами сетки на некоторых участках может быть обусловлено особенностями геологического строения бассейна реки или наличием наряду с доминирующими субширотным и субмеридиональным направлениями разломов сопряженных с ними диагональных [7].

Положение рек Центральной Азии (см. рис. 3, б) контролируется эталонными субширотными нарушениями северо-западного направления. Изменение положения русла рек на отдельных участках связано с действием эталонных субмеридиональных разломов северо-северо-восточного направления.

В Северной Америке в истоках р. Миссури (рис. 4, а) очень хорошо видно субширотное направление разлома, по которому русло проходит до г. Виллистоун, а ниже меняется на юго-восточное и далее после пересечения с субмеридиональным северо-восточным разломом река движется по нему почти до г. Омаха. Перед городом она переходит на субмеридиональный разлом того же направления, которое не меняется до г. Канзас-Сити. Ниже города русло реки подчиняется разлому субмеридионального юго-восточного направления, а затем меняет направление от субмеридионального до субширотного северо-восточного до впадения в Мексиканский залив.

Все ее притоки подчиняются в большинстве случаев эталонным субширотным разломам северо-восточного направления. Так, один из больших притоков р. Миссури сначала имеет субмеридиональное северо-западное направление до пересечения с субширотным разломом, по которому он

проходит некоторое расстояние, а затем переходит на следующий субширотный разлом юго-восточного направления, по которому движется большую часть своего пути до пересечения с разломом северо-восточного направления, выходящего на г. Омаха.

В Южной Америке рассматривался бассейн р. Амазонка и множества ее рукавов. Основное русло проходит по эталонному субширотному разлому северо-восточного направления, при пересечении с субмеридиональным разломом того же направления река переходит на параллельный субширотный также северо-восточный разлом, по которому течет до впадения в океан (см. рис. 4, б).

Многочисленные притоки р. Амазонка имеют преимущественно как субширотные северо-восточные, так и субмеридиональные северо-восточные и северо-западные направления. Иными словами, река контролируется теми тектоническими нарушениями на данной территории, азимуты которых соответствуют эталонной сетке.

Изложенное свидетельствует о подчиненности положения русла реки тектонике, которая и создает его сложную конфигурацию, что подтверждено и на практике. Она может быть детально рассмотрена на основе анализа изгибов реки на всем протяжении ее русла.

Не менее четко приуроченность речных русел к разломам эталонного направления наблюдается по р. Конго (Африка) и р. Муррей (Австралия).

Русло р. Конго (рис. 5, а) в истоках и вплоть до среднего течения подчиняется преимущественно субмеридиональным северо-западным разломам, далее – субширотному эталонному разлому северо-западного направления, при переходе на которое

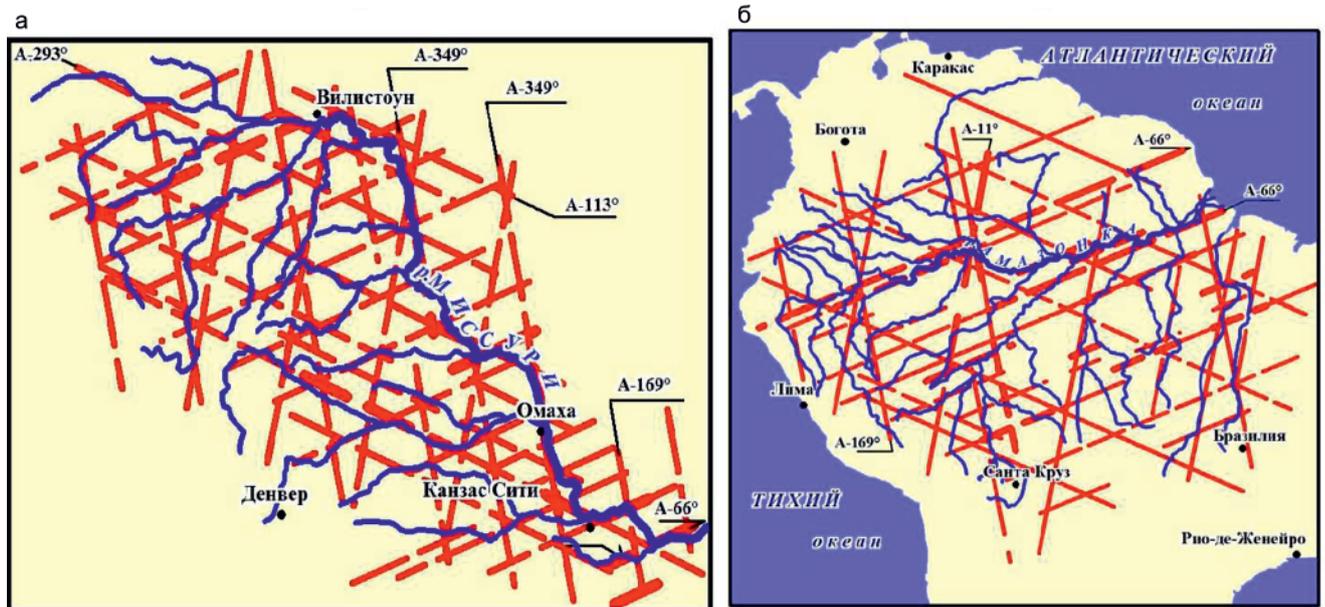


Рис. 4. Проявления сетки эталонных разломов в конфигурации русел рек Северной и Южной Америки: а – р. Миссури; б – р. Амазонка

Усл. обозн. см. на рис. 2

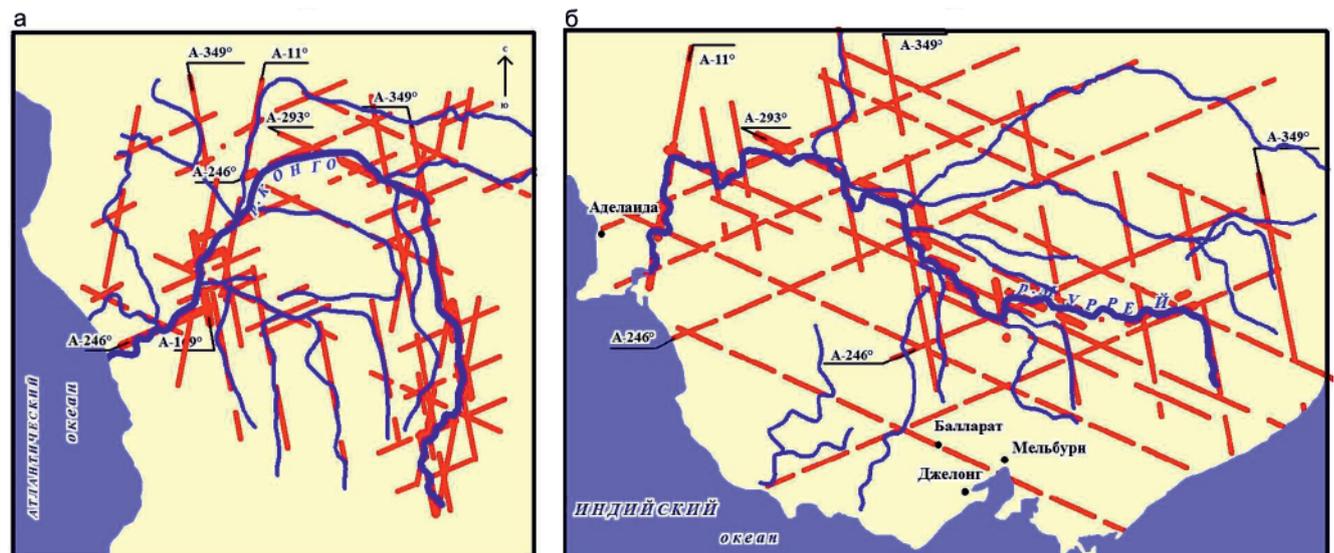


Рис. 5. Проявления сетки эталонных разломов в конфигурации русел рек Африки и Австралии: а – р. Конго; б – р. Муррей

Усл. обозн. см. на рис. 2

контролируется серией субширотных юго-западных разломов вплоть до акватории Атлантического океана. Положение русла отражает сложный механизм проявления активности разломов, полностью соответствующих эталонной сетке разломов Земли.

Австралийская р. Муррей (см. рис. 5, б) имеет менее сложную конфигурацию русла, что объясняется ее подчиненностью преимущественно разломам субширотного эталонного направления с юго-востока на северо-запад. Влияние субмеридиональных разломов проявляется лишь в истоках и дельте реки.

Таким образом, изложенное подтверждает гипотезу о существовании эталонной сетки планетарных разломов Земли и их выражении на регио-

нальном и локальном уровнях в конфигурации и направлении русел рек. Поскольку эти признаки характеризуют и геологическое строение бассейнов рек, их можно рассматривать как комплексные показатели проявления геолого-тектонических условий изучаемой территории.

### Выводы

Эталонная сетка планетарных разломов, определяющая положение региональных и локальных разломов, отражает действия ротационных сил при вращении Земли вокруг своей оси.

Сетка представляет собой пересечение разломов субширотного и субмеридионального эталонных направлений, имеющих соответствующие ази-



муть (см. рис. 1). Она контролирует направление и конфигурацию прямолинейных участков русел магистральных рек, что показано на примере ориентации рек на различных континентах. «Со временем, при более всестороннем изучении связи гидрографической сети с разломной тектоникой района, можно будет решать обратную задачу: определять наличие и простирающиеся разрывные нарушения по речным системам» [18].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Географический** сборник XV. Астрогеология. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 210 с.
2. **Епифанов В. А.** Вращение земли как первопричина «дрейфа континентов» и всемирных потопов // Наука. Промышленность. Оборона: матер. Всерос. науч.-техн. конф. НГТУ. – Новосибирск, 2004. – С. 126–130.
3. **Епифанов В. А.** Геогалактические пульсации, пространство-время Земли и гармония стратиграфической шкалы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 4 (12). – С. 90–103.
4. **Епифанов В. А.** Космические циклы – метромом эволюции Земли // География. Развитие науки и образования: коллект. моногр. по матер. Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф. LXXII Герценовские чтения: «География: развитие науки и образования». Т. 1. – СПб: РГПУ, 2019. – С. 448–454.
5. **Епифанов В. А.** Пульсации Земли и глобальная геоэкология // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Красноярского края. Вып. 9. – Красноярск: КНИИГиМС, 2007. – С. 160–168.
6. **Епифанов В. А.** Размещение первоисточников алмазов в связи с вращением земли // Прогнозирование и поиски коренных и россыпных алмазных месторождений: Матер. 2-й Междунар. конф. (Симферополь – Ялта, сентябрь 2004 г.). – Киев: УкрГГРИ, 2006. – С. 43–49.
7. **Морозов Ю. А.** К феноменологии структур и процессов ротационного генезиса // Ротационные процессы в геологии и физике. – М.: КомКнига, 2007. – С. 471–574.
8. **Нагевич П. Н.** Эталонная сетка глубинных разломов и ее проявления на региональном и локальном уровнях на поверхности Земли // Геология и минеральные ресурсы. – 2014. – № 6. – С. 33–39.
9. **Нагевич П. П.** Эталонная сетка глубинных разломов Земли и месторождения полезных ископаемых // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан: матер. междунар. науч.-техн. конф. – Ташкент: ГП «НИИМР», 2014. – С. 146–148.
10. **Нагевич П. П., Шейн В. С.** Универсальная сетка планетарных разломов и размещение месторождений углеводородов // Геология нефти и газа. – 2015. – № 4. – С. 68–82.
11. **Нагевич П. П.** Гидрогеологические признаки проявления разрывных нарушений в магматических

образованиях // Матер. науч. конф. «Геодинамика, магматизм и оруденение Западного Тянь-Шаня». Кн. 1. – Ташкент: НИИМР, 2016. – С. 161–169.

12. **Нагевич П. П.** Отражение эталонной сетки разломов в гидрогеологии горноскладчатых областей // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Влияние природных глобальных изменений и техногенных условий на гидрогеологические, инженерно-геологические процессы». – Ташкент, ГИДРОИНГЕО, 2018. – С. 72–74.

13. **Нагевич П. П.** Развитие представлений о планетарной трещиноватости Земли // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Интеграция науки и практики как механизм развития геологической отрасли Республики Узбекистан». – Ташкент: НИИМР, 2016. – С. 98–102.

14. **Нагевич П. П.** Решение перспективных задач современной геологии и гипотеза об универсальной (эталонной) сетке планетарных глубинных разломов Земли // Матер. междунар. науч.-техн. конф. «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии и пути их решения». – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2015. – С. 83–87.

15. **Нагевич П. П., Карпизина Г. И., Сергеева Е. В.** Проявление универсальной сетки разломов на поверхности земли // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Естественные и гуманитарные науки в современном мире». Секция «Современное состояние и перспективы развития наук о Земле». – Орел, 2021. – С. 269–274.

16. **Нагевич П. П., Чеботарева О. В., Мирюсов Ф. М.** Галерейные водозаборы подземных вод: прошлое, настоящее, будущее. – Ташкент: ИМР, 2017. – 225 с.

17. **Проблемы планетарной геологии** / ред. Д. В. Наливкин, Н. В. Тупицын. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 529 с.

18. **Чебаненко И. И.** Основные закономерности разломной тектоники земной коры и ее проблемы // Тр. Ин-та геол. наук. Серия геотектоники. Вып. 12. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963. – 152 с.

#### REFERENCES

1. *Geograficheskiy sbornik. XV. Astrogeologiya*. [Geographical Proceedings. XV. Astrogeology]. Moscow, Leningrad, AS USSR Publ., 1962, pp. 138–150. (In Russ.)
2. Epifanov V.A. [The rotation of Earth as a primary cause of the “continental drift” and global floods]. *Nauka, promyshlennost, oborona: materialy vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii NGTU* [Science, Industry, Defense: Materials of All-Russian Scientific Technical conference of NSTU]. Novosibirsk, 2004, pp. 126–130. (In Russ.)
3. Epifanov V.A. [Geogalactic pulsations, space-and-time of the Earth and harmony of the stratigraphic scale]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri* – Geology and Mineral Resources of Siberia, 2012, no. 4 (12), pp. 90–103. (In Russ.)



4. Epifanov V.A. [Cosmic cycles are the metronome of the evolution of Earth]. *Geografiya: razvitiye nauki i obrazovaniya. Kollektivnaya monografiya po materialam mezhdunar. nauch.-prakti. konf. LXXII Gertsenovskiy chteniya* [Geography: Development of Science and Education. Multi-authors monograph by materials of the International Scientific and Practical Conference 72<sup>nd</sup> Herzen readings: Geography: Development of Science and Education]. Saint Petersburg, HSPU Publ., 2019, vol. 1, pp. 448–454. (In Russ.).

5. Epifanov V.A. [Earth pulsations and global geology]. *Problemy ispolzovaniya i okhrany prirodnikh resursov Krasnoyarskogo kraya. Vyp. 9.* [Problems of use and protection of natural resources of the Krasnoyarsk Territory. Issue 9]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2007, pp. 160–168. (In Russ.).

6. Epifanov V.A. [Allocation of primary sources of diamonds in connection with the rotation of Earth]. *Prognozirovaniye i poiski korenykh i rossypanykhalmaznykh mestorozhdeniy: Materialy 2-y Mezhdunarodnoy konferentsii (Simferopol – Yalta, sentyabr 2004)* [Forecasting and Prospecting for primary and placer diamond deposits: Materials of the 2<sup>nd</sup> International Conference (Simferopol – Yalta, September 2004)]. Kiev, UcrSGEI, 2006, pp. 43–49. (In Russ.).

7. Morozov Yu.A. [To the phenomenology of structures and processes of rotational genesis]. *Rotatsionnyye protsessy v geologii i geofizike* [Rotation processes in geology and geophysics]. Moscow, KomKniga Publ., 2007, pp. 471–574. (In Russ.).

8. Nagevich P. [Reference grid of deep faults and its manifestations at the regional and local levels on the Earth's surface]. *Geologiya i mineralnyye resursy – Geology and Mineral Resources*, 2014, no. 6, pp. 33–39. (In Russ.).

9. Nagevich P.P. [Reference grid of deep faults of Earth and mineral deposits]. *Integratsiya nauki i praktiki kak mekhanizm effektivnogo razvitiya geologicheskoy otrasli Respubliki Uzbekistan: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Integration of science and practice as a mechanism for the effective development of the geological industry of the Republic of Uzbekistan: Materials of the International Scientific and Practical Conference]. Tashkent, GP NIIMP Publ., 2014, pp. 146–148. (In Russ.).

10. Nagevich P.P., Shein V.S. [Universal grid of planetary faults and hydrocarbon deposits location]. *Geologiya nefi i gaza – Russian Oil and Gas Geology*, 2015, no. 4, pp. 68–82. (In Russ.).

11. Nagevich P.P. [Hydrogeological evidences of appearance of discontinuous disturbances in magmatic formations]. *Materialy nauchnoy konferentsii “Geodinamika, magmatizm i orudeneniye Zapadnogo Tyan-Shanya”, Kniga 1* [Materials of Scientific Conference “Geodynamics, magmatism and mineralization of the Western Tien Shan”. Book 1]. Tashkent, GP NIIMR Publ., 2016, pp. 161–169. (In Russ.).

12. Nagevich P.P. [Reflection of the reference fault grid in the hydrogeology of mountain-folded regions]. *Mater. mezhdunar. nauch.-techn. konf. “Vliyaniye prirodnikh globalnykh izmeneniy i tekhnogennykh usloviy na gidrogeologicheskoye, inzhenerno-geologicheskoye protsessy”* [Materials of the International Scientific and Technical conference “The impact of Natural Global Changes and Man-Made Conditions on Hydrogeological, Engineering and Geological Processes”]. Tashkent, GP NIIMR Publ., 2018, pp. 72–74. (In Russ.).

13. Nagevich P.P. [The development of ideas about the planetary fracturing of Earth]. *Sbornik tezisev dokladov mezhdunarosnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Integratsiya nauki i praktiki kak mekhanizm razvitiya geologicheskoy otrasli Respubliki Uzbekistan”* [Collection of abstracts of the International Scientific and Research Conference “Integration of science and practice as a mechanism for the development of the geological industry of the Republic of Uzbekistan”]. Tashkent, GP NIIMR Publ., 2016, pp. 98–102. (In Russ.).

14. Nagevich P.P. [The solution of long-range objectives of modern geology and hypothesis of an universal (reference) grid of planetary deep faults of Earth]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii “Sovremennyye problemy gidrogeologii, inzhenernoy geologii i puti ikh resheniya”* [Materials of the International Scientific and Technical conference “Modern problems of hydrogeology, engineering geology, geoecology and ways to solve them”]. GP Insitute HIDROINGEO Publ., Tashkent, 2015, pp. 83–87. (In Russ.).

15. Nagevich P.P., Karpizina G.I., Sergeeva E.V. [The manifestation of an universal fault grid on the Earth's surface]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Estestvennyye i gumanitarnyye nauki v sovremennom mire”. Sektsiya “Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya Nauk o Zemle”* [Materials of the International Scientific and Practical conference “Natural Sciences and Humanities in the modern world”. Section “Current state and prospects of development of Earth Sciences”]. Orel, 2021, pp. 269–274. (In Russ.).

16. Nagevich P.P., Chebotareva O.V., Miryusov F.M. *Galereynyye vodozabory podzemnykh vod: proshloye, nastoyashchee, budushchee* [Gallery water intake systems for underground water: past, present, future]. Tashkent, GP IMR Publ., 2017. 225 p. (In Russ.).

17. Nalivkin D.V., Tupitsyn N.V., eds. *Problemy planetarnoy geologii* [Problems of planetary geology]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1963. 529 p. (In Russ.).

18. Chebanenko I.I. [The main patterns of fault tectonics of the Earth's crust and its problems]. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk. Seriya Geotektoniki. Vyp.12.* [Proceedings of the Geological Institute. Geotectonics series. Issue 12]. Kiev, AS USSR Publ., 1963. 152 p. (In Russ.).

© П. А. Негевич, Е. В. Сергеева, Г. И. Карпизина, 2022



## НАШИ АВТОРЫ

- АСЕЕВ Георгий Евгеньевич**, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), Новосибирск, Россия, доцент, к. т. н. *E-mail: aseev@corp.nstu.ru*
- БЫЧИНСКИЙ Валерий Алексеевич**, Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: val@igc.irk.ru*
- ГАЛЁВА Наталья Александровна**, Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Россия, науч. сотр. *E-mail: tatapelya@gmail.com*
- ГУСЕВ Анатолий Иванович**, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Россия, профессор, д. г.-м. н. *E-mail: anzerg@mail.ru*
- ДЕВЯТОВ Владимир Павлович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, ст. эксперт, д. г.-м. н. *E-mail: dvp@sniiggims.ru; v\_deviatov@mail.ru*
- ДЫХАН Светлана Владимировна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, ст. эксперт, к. г.-м. н. *E-mail: geochim@sniiggims.ru*
- ДЬЯЧЕНКО Геннадий Иванович**, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), Новосибирск, Россия, доцент, к. г.-м. н. *E-mail: agebtntu@gmail.com*
- КАРПИЗИНА Галина Ивановна**, Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Ташкент, Республика Узбекистан, ст. науч. сотр. *E-mail: Galinak58@mail.ru*
- КАШУБИНА Татьяна Викторовна**, Всероссийский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия, вед. науч. сотр. *E-mail: Tatiana\_Kashubina@vsegei.ru*
- КРИВОНОГОВ Сергей Константинович**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., Новосибирский государственный университет; д. г.-м. н. *E-mail: s\_krivanogov@mail.ru*
- ЛЕОНОВА Галина Александровна**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: leonova@*
- МАЛЬЦЕВ Антон Евгеньевич**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: maltsev@igm.nsc.ru*
- МАМАЕВА Анна Васильевна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, ст. эксперт, аспирант. *E-mail: mamaeva@sniiggims.ru*
- МАХНАЧ Елена Николаевна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией. *E-mail: mahnach@sniiggims.ru*
- МИГУРСКИЙ Феликс Анатольевич**, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, зав. отделом, к. г.-м. н. *E-mail: fam@vnigni.ru*
- МИРОШНИЧЕНКО Леонид Валерьевич**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, науч. сотр. *E-mail: lenya@ngs.ru*
- НАГЕВИЧ Павел Павлович**, Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Ташкент, Республика Узбекистан, вед. науч. сотр. к. г.-м. н., доцент. *E-mail: nagev@mail.ru*
- НЕЧЕПУРЕНКО Сергей Федорович**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: fedrych@igm.nsc.ru*
- САЛЬНИКОВ Александр Сергеевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. отделом, д. г.-м. н. *E-mail: assalnikov@mail.ru*
- СЕЛЕЗНЕВ Виктор Сергеевич**, Сейсмологический филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Россия, науч. рук. по направлению, д. г.-м. н. *E-mail: sel@gs.nsc.ru*
- СЕРГЕЕВА Елена Вячеславовна**, Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Ташкент, Республика Узбекистан, ст. науч. сотр. *E-mail: lenasuleym1960@gmail.com*
- СОБОЛЕВ Петр Николаевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией, к. г.-м. н. *E-mail: geochim@sniiggims.ru*
- СОЛОВЬЕВ Виктор Михайлович**, Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Россия, зам. директора, к. г.-м. н. *E-mail: solov@gs.nsc.ru*
- ШАВЕКИН Алексей Сергеевич**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: shavekin@igm.nsc.ru*



## OUR AUTHORS

- ASEEV Georgiy**, PhD, Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: aseev@corp.nstu.ru*
- BYCHINSKIY Valeriy**, PhD, A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: val@igc.irk.ru*
- DEVYATOV Vladimir**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: dvp@sniiggims.ru; v\_deviatov@mail.ru*
- DYACHENKO Gennadiy**, PhD, Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: agebtnstu@gmail.com*
- DYKHAN Svetlana**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia. *E-mail: geochim@sniiggims.ru*
- GALYOVA Natalya**, Altai-Sayan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: tatapelya@gmail.com*
- GUSEV Anatoliy**, DSc, Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Altai Krai, Russia. *E-mail: anzerg@mail.ru*
- KARPIZINA Galina**, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Tashkent, the Republic of Uzbekistan. *E-mail: Galinak58@mail.ru*
- KASHUBINA Tatyana**, All-Russian Geological Research Institute (VSEGEI), Saint Petersburg, Russia. *E-mail: Tatyana\_Kashubina@vsegei.ru*
- KRIVONOGOV Sergey**, DSc, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia. *E-mail: s\_krивonogov@mail.ru*
- LEONOVA Galina**, DSc, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: leonova@igm.nsc.ru*
- MAKHNACH Elena**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: mahnach@sniiggims.ru*
- MALTSEV Anton**, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: maltsev@igm.nsc.ru*
- MAMAEVA Anna**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: mamaeva@sniiggims.ru*
- MIGURSKIY Felix**, PhD, All-Russian Petroleum Research Exploration Institute (VNIGNI), Moscow, Russia. *E-mail: fam@vnigni.ru*
- MIROSHNICHENKO Leonid**, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: lenya@ngs.ru*
- NAGEVICH Pavel**, PhD, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Tashkent, the Republic of Uzbekistan. *E-mail: nagev@mail.ru*
- NECHEPURENKO Sergey**, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: fedrych@igm.nsc.ru*
- SALNIKOV Alexandr**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: assalnikov@mail.ru*
- SELEZNEV Victor**, DSc, Seismological Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: sel@gs.nsc.ru*
- SERGEEVA Elena**, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Tashkent, the Republic of Uzbekistan. *E-mail: lenasuleym1960@gmail.com*
- SHAVEKIN ALEXEY**, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: shavekin@igm.nsc.ru*
- SOBOLEV Petr**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: geochim@sniiggims.ru*
- SOLOVYEV Victor**, PhD, Altai-Sayan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: solov@gs.nsc.ru*

Подписано в печать 10.09.22. Дата выхода в свет 25.09.22. Отпускная цена 1653 р.  
Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м<sup>2</sup>. Печать цифровая.  
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 11,67 печ. л. Заказ №  
Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами в ПАО «Т8 Издательские Технологии»  
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корпус 5.  
Тел: 8 (495) 322 38 30  
[www.t8print.ru](http://www.t8print.ru)