ГЕОЛОГИЯ
И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ
РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2(34) ♦ 2018
Апрель – июнь

Главный редактор –
д. г.-м. н. А. И. Варламов

Редакционная коллегия
Свиньин В. Ф. (отв. редактор)
Брехунцов А. М., д.г.-м.н. (Тюмень)
Герт А. А., д.э.н. (Новосибирск)
Голошубин Г., д.ф.-м.н., проф. (Хьюстон, США)
Добрецов Н. Л., акад. РАН (Новосибирск)
Каменецкий Ф., проф. (Мюнхен, Германия)
Конторович А. Э., акад. РАН (Новосибирск)
Кулешов В. В., акад. РАН (Новосибирск)
Мельников Н. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)
Николаев А. В., чл.-корр. РАН (Москва)
Похиленко Н. П., акад. РАН (Новосибирск)
Птицын А. Б., д.г.-м.н. (Чита)
Сейфуль-Мулюков Р. Б., д.г.-м.н. (Москва)
Старосельцев В. С., д.г.-м.н., проф., зам. главного редактора (Новосибирск)
Тригубович Г. М., д.т.н., проф., зам. главного редактора (Новосибирск)
Шевченко А. А., к.г.-м.н., отв. секретарь (Новосибирск)
Шин Е. Ч., проф. (Инчхон, Республика Корея)
Эпов М. И., акад. РАН (Новосибирск)

Редакционный совет
Алексеев Г. Ф., к.т.н. (Москва)
Будников И.В., к.г.-м.н. (Новосибирск)
Васильев В. И., к.г.-м.н. (Иркутск)
Девятов В. П., д.г.-м.н. (Новосибирск)
Ефимов А. С. (Новосибирск)
Жуков К. А., к.т.н. (Новосибирск)
Комаров А. В. (Томск)
Конторович В. А., чл.-корр. РАН (Новосибирск)
Краснов В. И., к.г.-м.н. (Новосибирск)
Ларичев А. И., к.г.-м.н. (Санкт-Петербург)
Мигурский А. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)
Неволько А. И. (Новосибирск)
Рыльков С. А., к.г.-м.н. (Екатеринбург)
Сальников А. С., д.г.-м.н. (Новосибирск)
Смирнов Е. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)
Смирнов М. Ю., к.г.-м.н. (Новосибирск)
Филипцов Ю. А., к.г.-м.н. (Красноярск)
Черных А. И., к.г.-м.н. (Москва)
Филатов В. В., д.ф.-м.н. (Новосибирск)
Шиганова О. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)
Шпильман А. В., к.г.-м.н. (Тюмень)
Шурыгин Б. Н., чл.-корр. РАН (Новосибирск)

Редакция
Воронина Т. А.
Изотова Е. С.
Першина М. В.

630091, Новосибирск,
Красный проспект, 67
Тел./факс (383) 221-75-52
E-mail: journalsniiggims.ru
www.jourgimss.ru

Содержание

Региональная геология, стратиграфия, тектоника

А. С. Ефимов, Ф. А. Мигурский, М. Ю. Смирнов. Строение западного борта Курейской синеклизы по проектному профилю Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405 3

В. М. Подобина, Г. М. Татьянин. Биостратиграфия газоносных отложений сеномана северного палеобиогеографического района Западной Сибири (по данным фораминифер) 13

Нефтегазовая геология

П. С. Лапин. Морфогенез как критерий оценки изменения современного морфологического состояния мезо-кайнозойского чехла на примере Каймысовской нефтегазоносной области Западной Сибири 24

В. С. Старосельцев. Надвиги западной окраины Тунгусской синеклизы 36

Минерагения, рудные и нерудные месторождения

А. И. Гусев, Е. М. Табакаева. Петрология и геохимия турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая 39

А. Д. Котельников, Н. А. Макаренко. О критериях расчленения нижнепалеозойской габбро-монцодиоритовой формации Кузнецкого Алатау на когтахский и кашпарский интрузивные комплексы 49

Ф. В. Кирилловский. Вопросы генезиса Таштагольского железорудного месторождения (Горная Шория) 61

Геофизика, геофизическое приборостроение

М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова, Е. В. Мосягин, В. Н. Беспечный. Некоторые методические особенности применения геофизического комплекса при изучении геологического строения Восточно-Сибирского региона 65

О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков, Т. А. Сальников. Десять лет регистрации сейсмических сигналов с использованием автономной станции РОСА-А 77

Е. А. Хогоев, Е. Е. Хогоева, М. Л. Шемякин. Результаты численного анализа микросейсм по сейсмограммам МОГТ в районе Пайяхского нефтяного месторождения 93

Гипотезы и дискуссионные материалы

В. С. Бочкарев. Откуда на Земле появились руды, или необычное путешествие Меркурия по воле барона Мюнхгаузена (научная фантазия) 100

Страницы истории

Н. П. Запивалов. Западносибирская нефть: история и перспективы 104

Наши авторы 112

ISSN 2078-0575

GEOLOGY
AND MINERAL RESOURCES
OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

N2(34)♦2018
April – June

Editor
DSc A.I. Varlamov

Editorial board:

Svinyin V. F. (executive editor)
Brekhuntsov A. M., DSc (Tyumen)
Gert A. A., DSc (Novosibirsk)
Goloshubin G., DSc, prof. (Houston, USA)
Dobretsov N. L., acad. RAS (Novosibirsk)
Kamenetskij F., prof. (Munich, Germany)
Kontorovich A. E., acad. RAS (Novosibirsk)
Kuleshov V. V., acad. RAS (Novosibirsk)
Melnikov N. V., DSc (Novosibirsk)
Nikolaev A. V., corr. memb. RAS (Moscow)
Pokhilenko N. P., acad. RAS (Novosibirsk)
Ptitsyn A. B., DSc (Chita)
Sejful'-Mulyukov R. B., DSc, prof. (Moscow)
Staroseltsev V. S., DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)
Trigubovich G. M., DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)
Shevtchenko A. A., PhD, executive secretary (Novosibirsk)
Shin E. Ch., PhD, Prof. (Incheon, Republic of Korea)
Epov M. I., acad. RAS (Novosibirsk)

Editorial council:

Alekseev G. F., PhD (Moscow)
Budnikov I. V., PhD (Novosibirsk)
Vasilyev V. I., PhD (Irkutsk)
Devyatov V. P., DSc (Novosibirsk)
Efimov A. S. (Novosibirsk)
Komarov A. V. (Tomsk)
Kontorovich V. A., corr. memb. RAS (Novosibirsk)
Krasnov V. I., PhD (Novosibirsk)
Larichev A. I., PhD (St. Petersburg)
Migurskiy A. V., DSc (Novosibirsk)
Nevolko A. I. (Novosibirsk)
Rylkov S. A., PhD (Ekaterinburg)
Smirnov E. V., PhD (Novosibirsk)
Smirnov M. Yu., PhD (Novosibirskr)
Filiptsv Yu. A., DSc (Krasnoyarsk)
Filatov V. A., DSc (Novosibirsk)
Chernykh F. I., PhD (Moscow)
Shiganova O. V., PhD (Novosibirsk)
Shpilman A. C., PhD (Tyumen)
Shurygin B. N., corr. memb. RAS (Novosibirsk)
Zhukov K. A., PhD (Novosibirsk)

Editorial staff

Voronina T. A.
Izotova E. S.
Pershina M. V.

630091, Novosibirsk, Russia
Krasny prospect, 67
Tel./fax +7 (383) 221-75-52
E-mail: journalsniiggims.ru
www.jourgimss.ru

Content

Regional Geology, Stratigraphy, Tectonics

A. S. Efimov, F. A. Migurskiy, M. Yu. Smirnov. On oil and gas promising horizons and local targets on geologic-geophysical base line "Well Tynepskaya 215 – Well Khantaiskaya 405" 3

V. M. Podobina, G. M. Tatiyanin. Biostratigraphy of Senomanian gas depositions of the northern paleogeogeographical regions of West Siberia (on foraminifer evidence) 13

Petroleum Geology

P. S. Lapin. Morphogenesis as a criterion of evoluation of present-day change of the mesozoic-cenozoic cover morphological state (case study for the Kaymysovsky Petroleum Region in Western Siberia) 24

V. S. Staroseltsev. Thrusts of the western margin of the Tunguska Syneclise 36

Minerogenesis, ore and non-metallic deposits

A. I. Gusev, E. M. Tabakaeva. Petrology and geochemistry of turmaline leucogranites of Gorny Altai 39

A. D. Kotelnikov, N. A. Makarenko. On criteria for differentiation of the Lower-Paleozoic gabbro-monzodiorite formation of the Kuznetsk Alatau in the Kogtakh and Kashpar intrusive complexes of the Kuznetsk Alatau 49

F. V. Kirillovskiy. Issues of the Tashtagol iron-ore deposit genesis (Gornaya Shoriya) 61

Geophysics, Geophysical Industry

M. Yu. Smirnov, G. D. Ukhlova, E. V. Mosyagin, V. N. Bespechny. Some methodical peculiarities of application of the geophysical complex in the study of the geological structure of the East Siberian Region 65

O. M. Sagaydachnaya, A. S. Salnikov, A. V. Sagaidachny, A. N. Shmykov, T. A. Salnikov. Ten years of seismic signal recording with the ROSA-A autonomous station 77

E. A. Khogoev, E. E. Khogoeva, M. L. Shemyakin. Results of numerical microseism analysis on CDP seismograms in the area of Paiyakhskoe Oil Field 93

Controversial Issues and Hypotheses

V. S. Bochkarev. From whence ores appeared on the Earth or unusual journey of Mercury at the pleasure of Baron Münchhausen (scientific fantasy) 100

Pages of Our History

N. P. Zapivalov. West-Siberian oil: history and prospects 104

Our authors 113

ISSN 2078-0575

УДК 553.9.041:550.83(571.5-16)

СТРОЕНИЕ ЗАПАДНОГО БОРТА КУРЕЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ ПО ПРОЕКТНОМУ ПРОФИЛЮ ТЫНЕПСКАЯ СКВ. 215 – ХАНТАЙСКАЯ СКВ. 405

А. С. Ефимов[1], Ф. А. Мигурский[1], М. Ю. Смирнов[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва, Россия; [2]Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

№ 2(34) ◆ 2018

В 2013 г. по результатам анализа материалов региональных геолого-разведочных работ для территории Российской Федерации Роснедрами были намечены 26 перспективных зон для ускоренного наращивания минерально-сырьевой базы углеводородного сырья. Хантайско-Североречeнская и Южно-Тунгусская нефтегазоперспективные зоны расположены на правобережье р. Енисей и объединяют земли Курейско-Бакланихинского, Хантайско-Рыбнинского мегавалов, Сурингдаконского выступа и западного борта Курейской синеклизы. Для геологического изучения зоны в 2014 г. специалистами «Енисейгеофизики» и СНИИГГиМС был предложен региональный геолого-геофизический профиль по маршруту, соединяющему проектные участки параметрических скважин Тынепской 215 и Хантайской 405. После неоднократных уточнений программ госбюджетного финансирования в 2018 г. АО «Росгеология» приступает к полевым геофизическим работам вдоль этого маршрута. Проектный комплекс работ включает сейсморазведку МОГТ 2D, электроразведку МТЗ-ЗСБ, аэрогеофизические исследования (магнито- и электроразведка, гамма-спектрометрия), и данный маршрут рассматривается как опорный для планирования последующих нефтегазопоисковых работ в северо-западной части Сибирской платформы. Анализ имеющихся геолого-геофизических материалов вдоль маршрута позволил обосновать наиболее перспективные на нефть и газ уровни разреза и ожидаемые локальные объекты, уточнить перечень геологических задач и координаты регионального профиля. Приведены результаты пересмотра и частичной переобработки комплекса архивных геолого-геофизических материалов.

Ключевые слова: *сейсморазведочные работы, опорный геофизический профиль, Сибирская платформа, нефтегазоперспективные зоны, Хантайско-Североречeнская, Южно-Тунгусская, проектные скважины Тынепская, Хантайская.*

ON OIL AND GAS PROMISING HORIZONS AND LOCAL TARGETS ON GEOLOGIC-GEOPHYSICAL BASE LINE "WELL TYNEPSKAYA 215 – WELL KHANTAISKAYA 405"

A. S. Efimov[1], F. A. Migurskiy[1], M. Yu. Smirnov[2]

[1]All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; [2]Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

In 2013, based on the analysis of regional geological exploration materials for the Russian Federation territory, Rosnedra specialists planned 26 prospective zones for accelerated development of the hydrocarbon resource base. The Khantai-Severorechenskaya and South-Tungusskaya oil-and-gas promising areas are located on the right bank of Yenisei and unite lands of the Kureika-Baklanikha, Khantai-Rybninsk megaswells, Surigdakon salient and western framing of the Kureika syneclise. With the purpose of geological study of the zone, in 2014 specialists of Yenisegeophysica and SNIIGGiMS proposed a regional geological and geophysical profile along the route connecting the project sites of the parametric wells Tynepskaya 215 – Khantaiskaya 405. After repeated clarification of the state budget financing programs JSC Rosgeologiya is proceeding to field geophysical studies along this route in the current 2018 year. The project scope of work includes 2D CDP seismic survey, MTS-NFTES electrical exploration, aerogeophysical investigations (magnetic exploration, electrical exploration, gamma spectrometry) and this route is considered as a reference for planning of subsequent oil and gas prospecting in the northwestern part of the Siberian Platform. The analysis of available geological and geophysical materials along the route made it possible to substantiate levels of the section that are the most promising for oil and gas and expected local objects, to specify the list of geological tasks and coordinates of the regional profile. The results of the revision and partial reprocessing of archival geological and geophysical materials are given in this article.

Keywords: *seismic survey, geophysical base line, Siberian Platform, zones promising for oil and gas, Khantai-Severorechensk, South-Tungusskaya, parametric wells Tynepskaya, Khantaiskaya.*

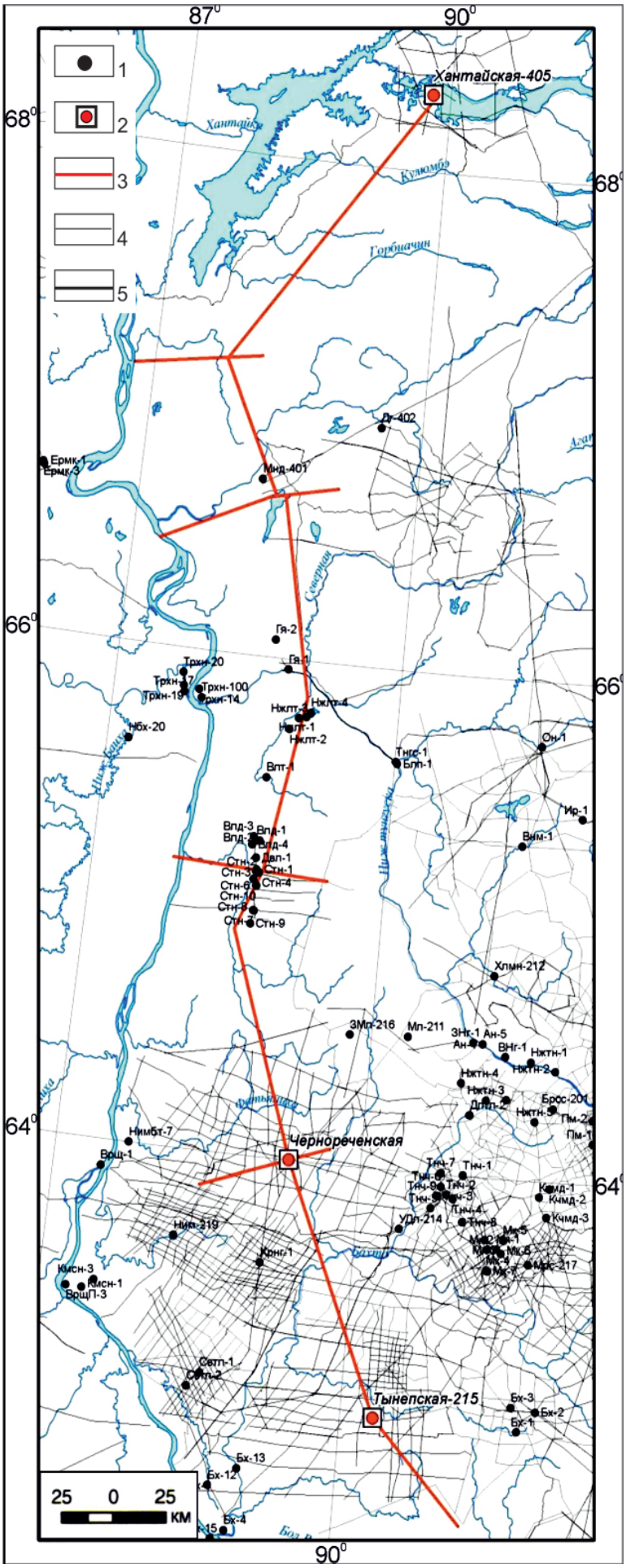
DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-3-12

Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция занимает большую часть Сибирской платформы, но в нефтегазовое недропользование активно вовлечены лишь участки южнее 64-й параллели. В южных районах построена сеть нефтепроводов, происходит ежегодный прирост запасов нефти и газа промышленных категорий, существенно увеличилась добыча нефти. Районы Сибирской платформы, расположенные севернее, за исключением земель Анабаро-Хатангской нефтегазоносной области (НГО),

Рис. 1. Положение сейсмического профиля по маршруту Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405 на карте тектонического районирования (по материалам СНИИГГиМС, 2012)

1 – зоны складчато-надвиговых дислокаций; 2 – Предверхоянский перикратонный прогиб; 3 – перикратонные прогибы; 4 – другие отрицательные структуры; 5 – положительные структуры; 6 – сочленяющие структурные формы

практически не участвуют в воспроизводстве минерально-сырьевой базы (МСБ) углеводородов (УВ). При этом севернее 64-й параллели прогнозируется более четверти прогнозных ресурсов УВ Сибирской платформы. Однако ресурсы этих регионов десятилетиями не переводились в категории более высоких рангов по результатам государственной количественной оценки. Все это говорит о том, что темпы



государственного геологического регионального изучения северных и центральных НГО платформы не отвечают современным требованиям. Контраст результатов государственных геолого-разведочных работ (ГРР) на севере и работ недропользователей на юге из года в год становится все более явным. Проблема не может быть решена без кратного увеличения объемов глубокого бурения и проведения региональных сейсмических исследований.

Еще в 2014 г. Роснедрами были установлены первоочередные нефтегазоперспективные зоны для ускоренного воспроизводства МСБ УВ и принято решение о разработке программы параметрического бурения.

Всего для территории РФ было предложено 26 зон.

Выделенные по результатам ГРР Хантайско-Севороченская и Южно-Тунгусская нефтегазоперспективные зоны (рис. 1) расположены на правобережье р. Енисей и объединяют земли Курейско-Бакланихинского, Хантайско-Рыбнинского мегавалов, северной части Бахтинского мегавыступа, выделяемой сотрудниками СНИИГГиМС как Сурингдаконский выступ, и западного борта Курейской синеклизы. В последние годы на этих территориях выполнен ряд обобщающих геолого-геофизических исследований, намечено проведение региональных профильных глубинных геофизических, в первую очередь сейсмических, исследований.

Региональный сейсмический профиль между проектными параметрическими скважинами Тынепской 215 и Хантайской 405 позволит увязать в единую сеть региональный сейсмопрофиль Светлая скв. 1 – Хошонская скв. 256, речной профиль по р. Нижняя Тунгуска и региональный сейсмопрофиль оз. Хантайское – о. Диксон (рис. 2).

Первоначальное направление профиля после анализа всего комплекса геолого-геофизических данных потребовало корректировки. Весьма сложным местом для выбранной трассы оказалась средняя часть, проходящая вдоль меридионального простирания линейных складок Курейско-Бакланихинского мегавала (рис. 3). Здесь широко распространены тектонические на-

Рис. 2. Первоначальное положение сейсмического профиля по маршруту Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405 на карте геолого-геофизической изученности

1 – глубокие скважины; 2 – проектные скважины; 3 – проектные сейсмопрофили; сейсмопрофили, отработанные: 4 – до 1987 г., 5 – после 1987 г.

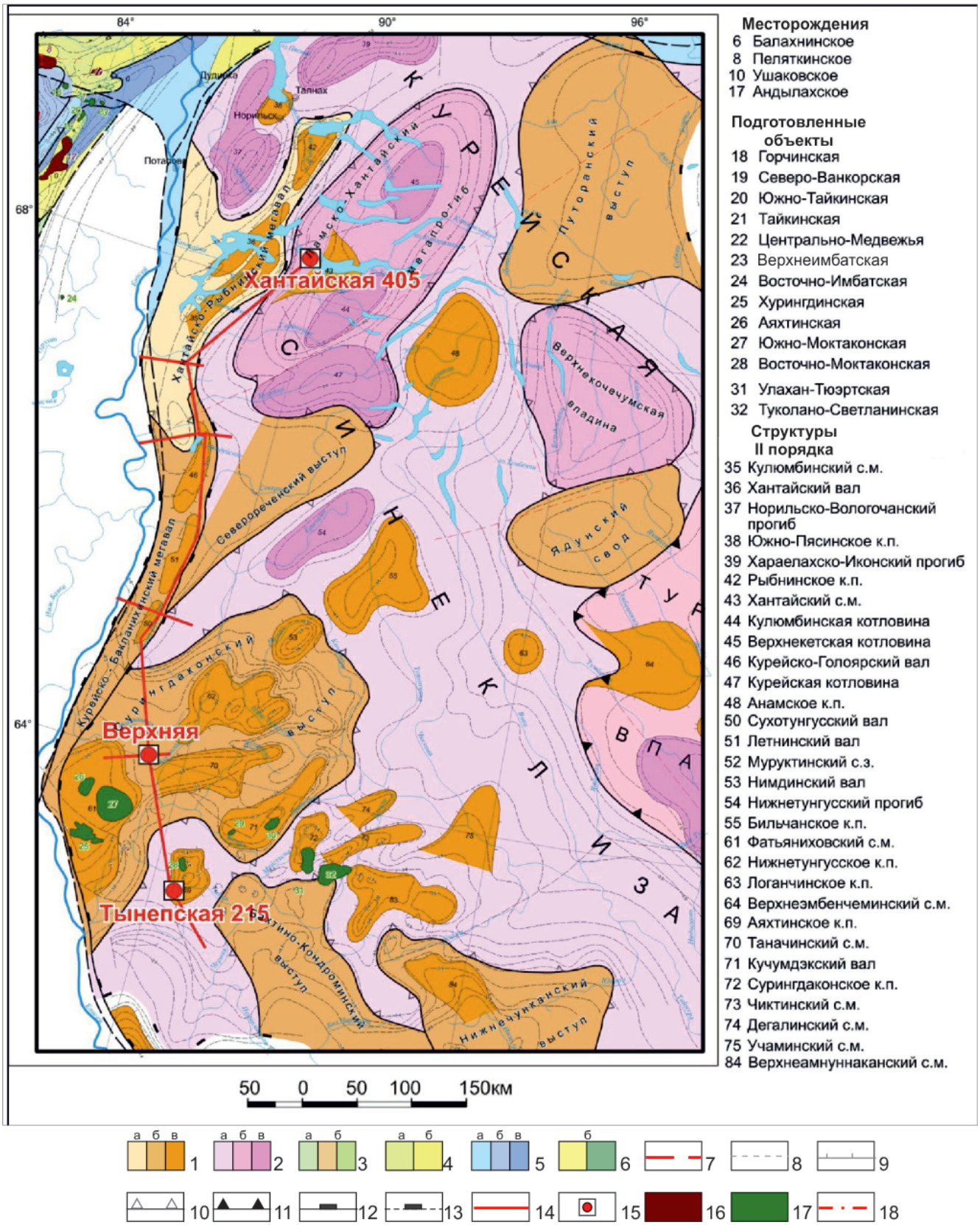


Рис. 3. Первоначальное положение сейсмического профиля по маршруту Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405 на тектонической карте (СНИИГГиМС, 2006)

1–6 – пликативные структуры чехла (а – надпорядковые, б – первого порядка, в – второго порядка), палеозой: 1 – положительные, 2 – отрицательные, 3 – промежуточные; мезозой: 4 – положительные; 5 – отрицательные, 6 – промежуточные; 7 – региональный сейсмопрофиль Хантайская скв. 405 – Тынепская скв. 215; 8 – проектные параметрические скважины; 9 – региональные глубинные разломы; 10 – стратоизогипсы; контуры структур: 11 – второго порядка, 12 – первого порядка, 13 – суперпорядковых, 14 – надпорядковых, 15 – наложенных отрицательных; 16 – месторождения УВ; 17 – подготовленные объекты; 18 – административные границы

рушения с развитием субмеридиональных взбросов и надвигов. Можно уверенно предсказать значительные трудности при обработке этой части сейсморазведочных данных вплоть до невозможности увязки отдельных отражающих горизонтов не только на всем протяжении сейсмопрофиля, но даже и на отдельных его участках. Сместители крупной Имангдинско-Летнинской зоны разломов (рис. 4), погружающиеся на запад, при прохождении регионального профиля в висячем западном крыле будут выглядеть на сейсмическом разрезе как слабонаклонные и субгоризонтальные линии, параллельные отражающим горизонтам и разделяющие блоки различного возраста. Поэтому, чтобы выделить пересечения профилем выходов на поверхность субмеридиональных наклонных сместителей надвигов, следует в первую очередь полагаться на особенности геоэлектрического разреза по данным комплекса электроразведочных методов, МТЗ, ЗСБ и аэроэлектроразведки и особенно применительно к зонам с низким сопротивлением, полого подходящим к поверхности.

При первоначальном (см. рис. 2, 3) проектном проложении маршрута в северной его части было предусмотрено огибание профилем бортов Ламско-Хантайского мегапрогиба [6], Горбиачинского прогиба [1] или Курейско-Горбиачинского прогиба [7]. Во всех случаях на всех тектонических картах и схемах в междуречье Горбиачина и Курейки к востоку от линейных складок Курейско-Балахнинского и Хантайско-Рыбнинского мегавалов, дающих в этом месте контрастный изгиб осей к западу, выделяется отрицательная контрастная структура первого порядка. Ее выделение основывалось на анализе толщин геологических образований верхнего палеозоя, обнажающихся на поверхности. К сожалению, этот район является «белым пятном» с нулевой плотностью изученности сейсморазведкой и глубоким бурением, т. е объективной информации о строении глубинных горизонтов нет. В пользу того, что по глубоким частям осадочного чехла рифея, венда и, возможно, кембрия здесь развита не отрицательная структура, а погребенное поднятие, могут свидетельствовать два важных признака.

Во-первых, результаты анализа виргации осей линейной складчатости Курейско-Балахнинского и Хантайско-Рыбнинского мегавалов указывают на некий не вскрытый современной эрозией структурный упор, не позволивший продвинуться линейной складчатости, которая развивалась дальше на восток под давлением субширотного вектора сжатия. Прогноз погребенных поднятий по анализу виргаций складчато-надвиговых структур был предложен А. В. Мигурским [4]. С помощью этого метода выделено Чайкинское поднятие, подтвержденное бурением [5]. Еще одно доказательство подобных выводов – строение складчато-надвигового обрамления Предверхоянского перикратонного прогиба. Масштабные шарьяжные перемещения в западном направлении развиты в покровах напротив отрицательных структур различного ранга: Китчанской надвиговой зоны напротив осевой части Вилюйской синеклизы и Сиктяхской шарьяжной зоны напротив Кютингдинского грабена. В то же время восточному продолжению Оленекского свода соответствует обратный (восточный) изгиб линейной складчатости.

Во-вторых, изучение гравиметрической карты показывает наличие контрастной положительной аномалии, названной авторами Типтурской, с амплитудой около 5 мГал и центром, в точности совпадающим с центром возможного погребенного глубинного поднятия так, как если бы оно было причиной виргации осей линейной складчатости (рис. 5).

Контрастная положительная аномалия более 20 мГал, расположенная северо-западнее, обусловлена, вероятнее всего, выходом плотных рифейских пород в ядре Игарского выступа. Аналогично и в нашем случае возмущающим объектом, возможно, является погребенное поднятие, сложенное рифейскими и, вероятно, нижнепалеозойскими образованиями.

Комплексный анализ полученной геологической информации указывает на высокий нефтегазовый потенциал рассматриваемой территории. Помимо упомянутых нефтегазоперспективных участков и объектов, через которые проходит обсуждаемый маршрут, остановимся на объектах в южной половине профиля. В 2017 г. в рамках обоснования заложения параметрической скважины были частично переобработаны и с единых позиций проинтерпретированы сейсмопрофили, пересекающие этот район. В результате уточнены особенности строения не только всего обширного района, но и ряда перспективных локальных объектов.

Сурингдаконский выступ – крупная краевая структура юго-западной части Сибирской платформы. По своему структурно-тектоническому положению выступ является северо-западным продолжением Байкитской антеклизы. С востока и запада он ограничен крупными отрицательными структурами – Курейской синеклизой и Приенисейским мегапрогибом. Последний выполнен мощным терригенно-карбонатным осадочным комплексом рифейских отложений (до 5–6 км в его центральных частях), обладающих высоким нефтегазогенерационным потенциалом. В его пределах венд-палеозойский терригенно-соленосно-карбонатный структурно-формационный комплекс, с которым связываются основные перспективы осадочного чехла, формировался в условиях повышенной тектонической активности палеобассейна, которая выражена в резкой литофациальной изменчивости и значительных колебаниях мощностей стратиграфических подразделений разреза венда и особенно нижнего и среднего кембрия. По закономерным для территории изменениям об-

№ 2(34) ♦ 2018

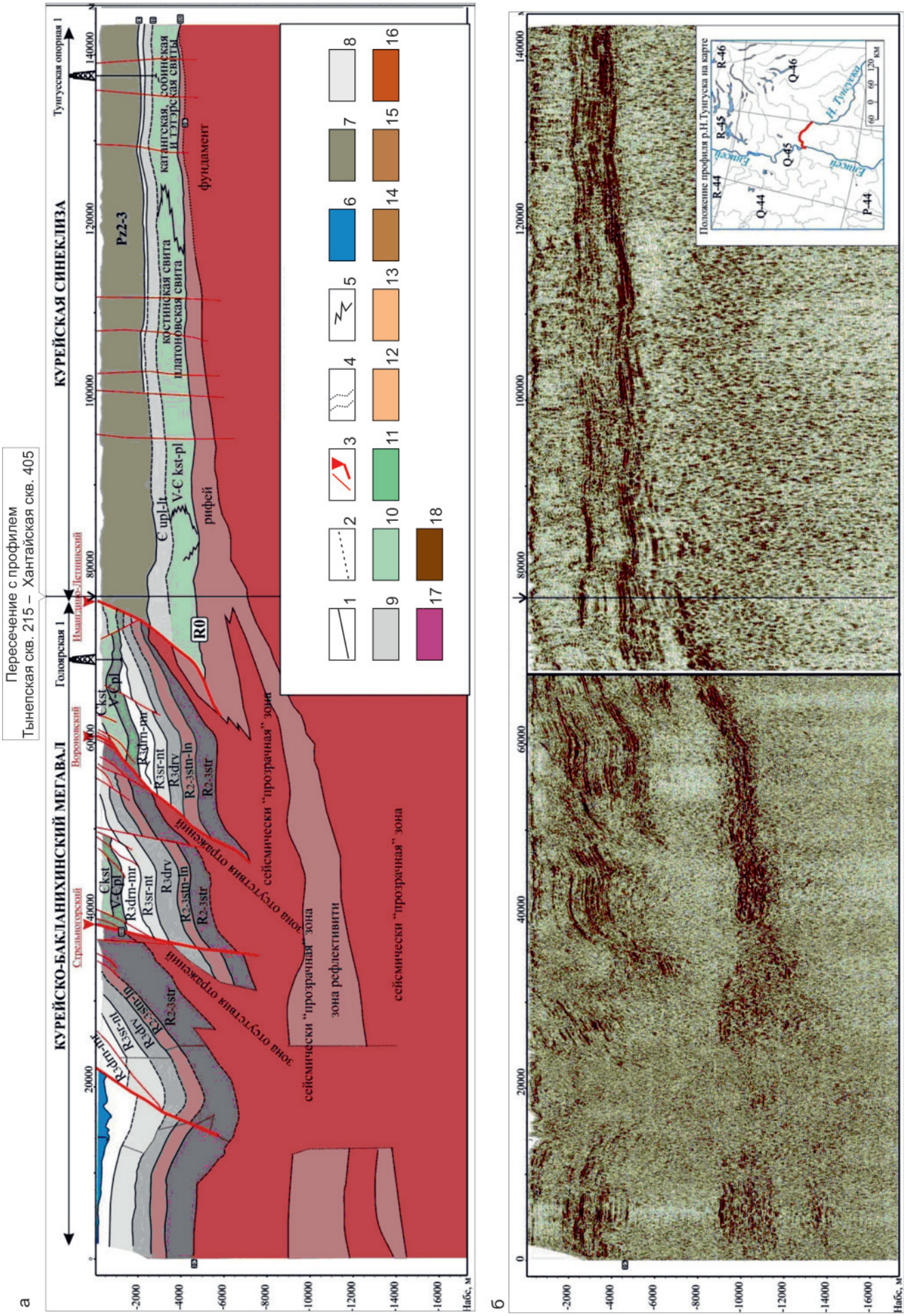

Пересечение с профилем
Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405
а
б
КУРЕЙСКО-БАКЛАНИХИНСКИЙ МЕГАВАЛ
КУРЕЙСКАЯ СИНЕКЛИЗА
Стрельногорский
Воронцовский
Голоярская 1
Имангдинский
Тунгусская опорная 1
Pz2-3
катангская, собинская и тэтэрская свиты
костинская свита
платоновская свита
V-Є kst-pl
Є upl-lt
рифей
фундамент
R0
Cksl
V-Cpl
R3dm-mr
R3sr-nt
R3drv
R2-3stn-ln
R2-3str
зона отсутствия отражений
сейсмически "прозрачная" зона
зона рефлективити
Набс, м
Положение профиля р.Н.Тунгуска на карте
Н. Тунгуска
Енисей
R-44
R-45
R-46
Q-44
Q-45
Q-46
P-44
км

Рис. 4. Пересечение проектного профиля с речным профилем по р. Нижняя Тунгуска (интерпретация СНИИГГиМС, 2014)

1 – отражающие горизонты и границы комплексов; 2 – предполагаемые границы комплексов (в зоне отсутствия отражающих горизонтов); 3 – разрывные нарушения; 4 – область отсутствия регулярных отражений; 5 – фациальные замещения; отложения: 6 – юрские, 7 – палеозойские, 8 – ордовикско-верхнекембрийские; кембрийские: 9 – верхний – средний отделы (устьпелядкинская и летнинская свиты), 10 – средний – нижний отделы (костинская свита); 11 – вендско-нижнекембрийские (платоновская свита); верхнерифейские: 12 – дурномысская, туруханская, речкинская и мироедихинская свиты; 13 – шорихинская и нижнетунгусская (буровой) свиты, 14 – деревнинская свита; верхне-среднерифейские: 15 – сухотунгусская свита, 16 – свита линок; 17 – архейско-протерозойский фундамент; 18 – нерасчлененные рифейские отложения

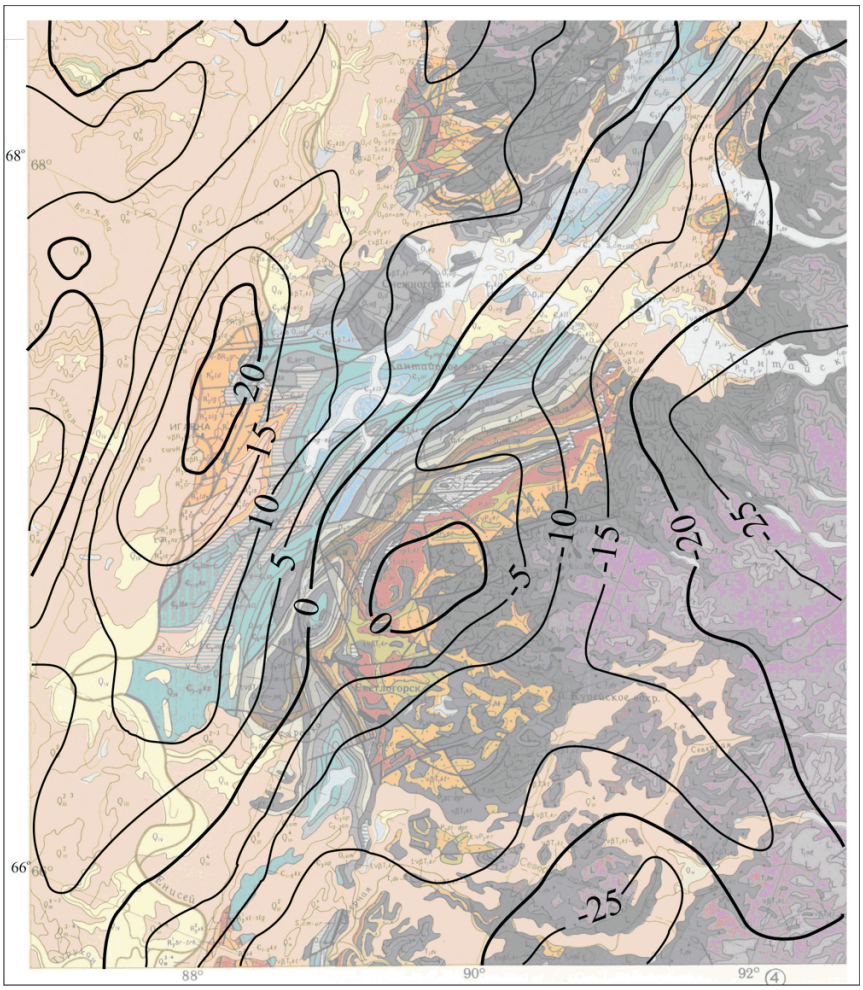


Рис. 5. Совмещение геологической карты м-ба 1:1 500 000 (сост. Н. С. Малич, 1999) и гравиметрической карты м-ба 1:2 500 000 [3]; в центре выделяется гравитационная аномалия, оконтуриваемая нулевой изолинией (Типтурская)

лика венд-нижнекембрийского пакета отражений в меридиональном направлении прослеживается сейсмофациальная зональность. Выделены четыре фациальные зоны, существенно различающиеся между собой разрезами нижнего и нижне-среднекембрийского комплексов: Сурингдаконская, Тынепская, Светлая и Туруханская.

Сурингдаконская субширотная зона резкой смены нижне-среднекембрийских отражений на основании данных редких параметрических скважин представляется областью смены эвапоритового нижне-среднекембрийского осадконакопления на существенно карбонатное, терригенно-карбонатное к северу. Именно к этой области примыкают Моктаконская, Таначинская, Усть-Дельтулинская площади, на которых получены притоки нефти и газа из терригенно-карбонатных горизонтов нижнего кембрия. К этой же зоне примыкает поднятие Верхнее в центральной части Тынепского выступа. Приуроченность поднятия к данной фациальной зоне позволяют отнести его к высоконефтеперспективным объектам по горизонтам нижнего кембрия и рекомендовать в его пределах бурение параметрической скважины (рис. 6). На схеме профиля (рис. 7), эта проектная скважина нанесена как Черноречeнская. Благодаря размерам (35×25 км, амплитуда 70 м) и структурному положению поднятие представляет несомненный интерес для газонефтепоисковых работ. Основные перспективы нижнекембрийских отложений поднятия Верхнего связываются с нижнетунгусским (А–V) и моктаконским (А–VI) горизонтами, развитыми в низах аналогов бельской и верхней части усольской свит соответственно, а также возможно продуктивными горизонтами – кочумдекским (А–IV) и подсолевым (А–III),

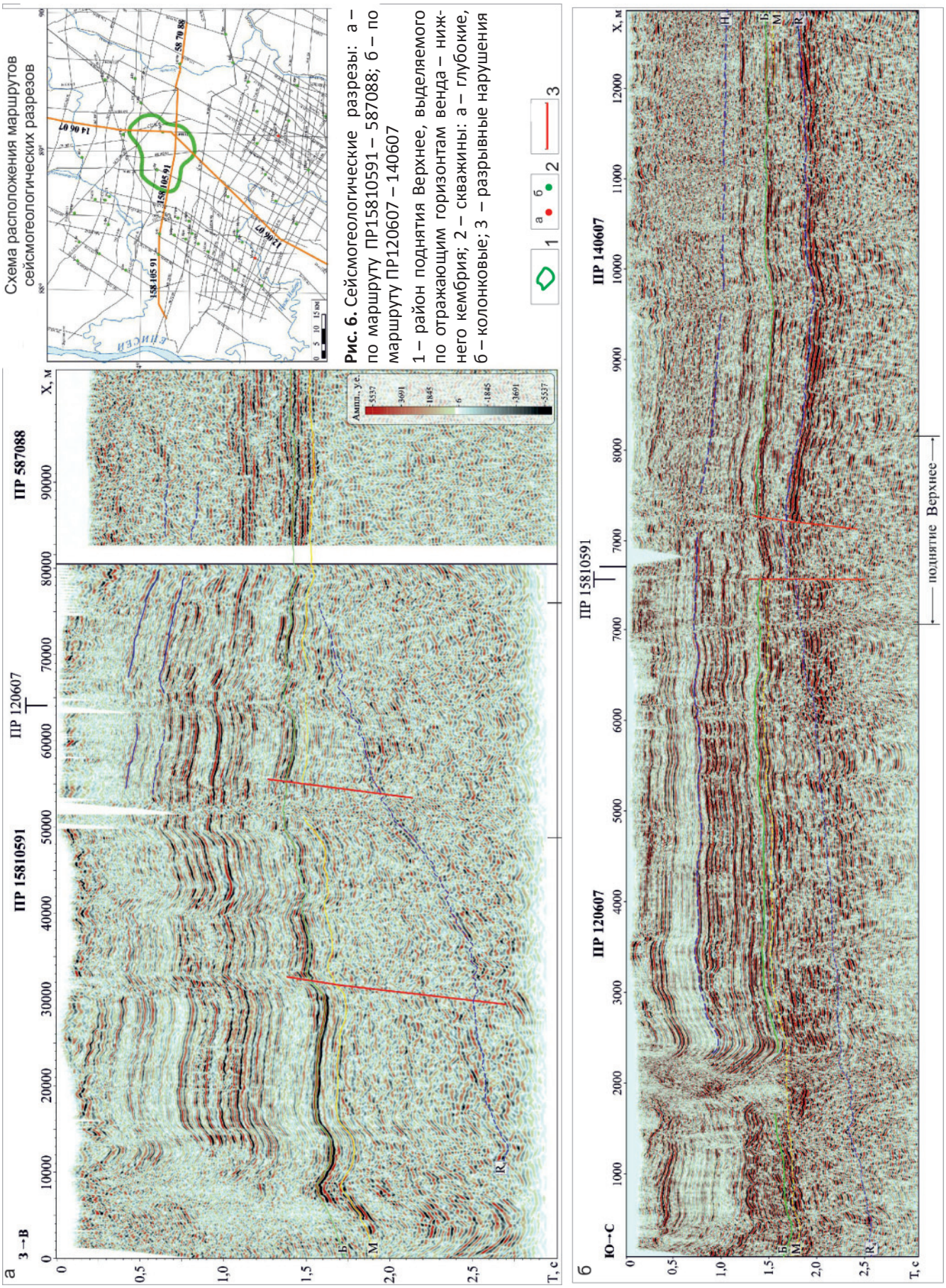


Рис. 6. Сейсмогеологические разрезы: а – по маршруту ПР15810591 – 587088; б – по маршруту ПР120607 – 140607
1 – район поднятия Верхнее, выделяемого по отражающим горизонтам венда – нижнего кембрия; 2 – скважины: а – глубокие, б – колонковые; 3 – разрывные нарушения

распространенными в Южно-Тунгусской НГО в средней и верхней частях бельской свиты. На Моктаконской и Усть-Дельтулинской площадях из моктаконского и нижнетунгусского горизонтов получены промышленные притоки газа, конденсата и нефти.

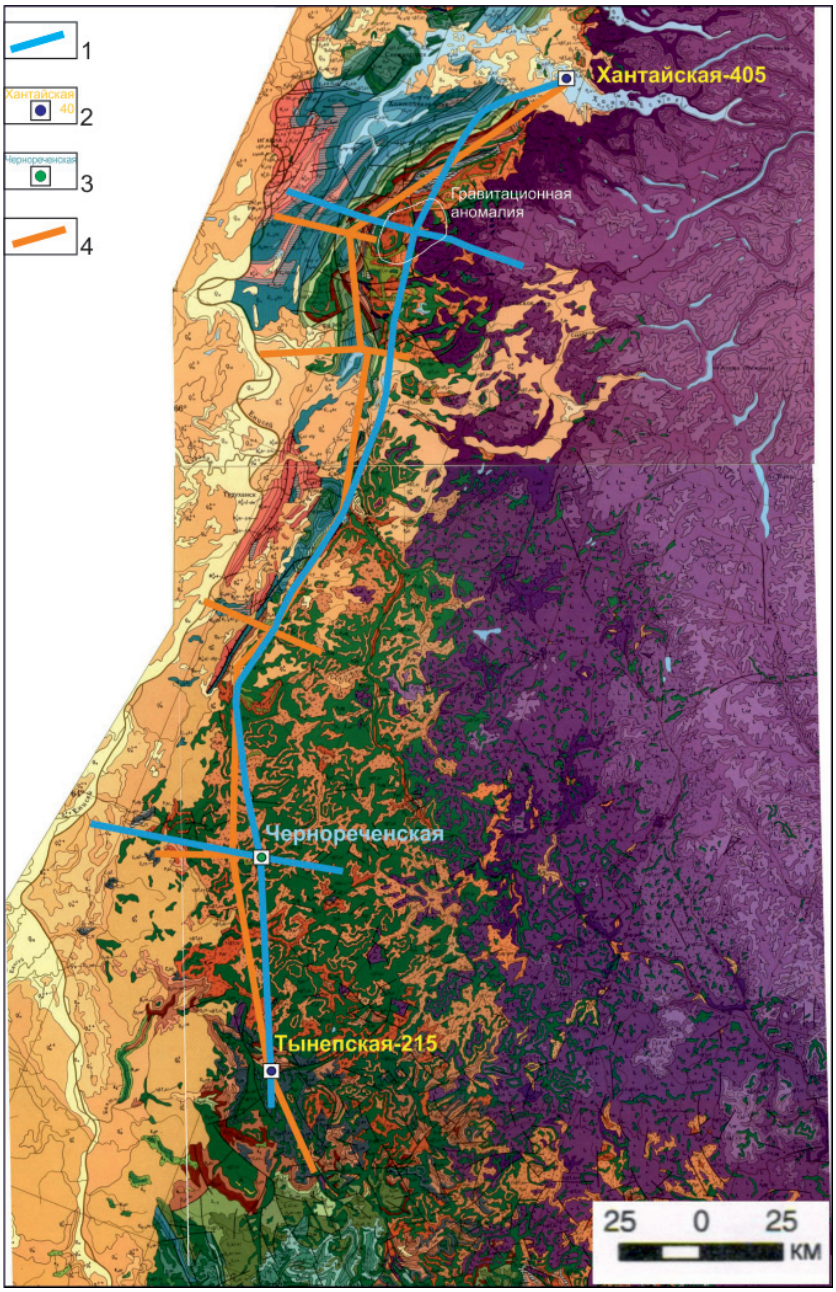


Рис. 7. Уточненное положение сейсмического профиля по маршруту Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405 на геологической карте [2]

1 – линии сейсмического профиля и рассечек к нему; 2 – проектные скважины; 3 – планируемые скважины; 4 – первоначальная линия сейсмического профиля и рассечек к нему

Южное окончание маршрута начинается с крупного локального Тынепского поднятия, выделенного сейсморазведочными работами в конце 1980-х гг. по отражающим горизонтам нижнего кембрия. Юго-восточное замыкание поднятия по отражающим горизонтам кембрия и венда весьма неуверенное, его амплитуда в указанном направлении в 50 м находится за пределами точности сейсморазведки тех лет. Именно на это нужно обратить пристальное внимание при проведении здесь новых геофизических исследований. Однако положение Тынепского поднятия как локального осложнения Кондроминского выступа (см. рис. 3) позволяет рассматривать его как высоконефтеперспективное. Выступ занимает осевую северную часть Байкитской антеклизы, и, соответственно, в его пределах следует ожидать нефтегазоносность на уровнях кровли рифейской толщи и терригенно-карбонатных базальных горизонтов венда.

Выводы

1. По результатам выполненных исследований уточнена трасса сейсмического регионального профиля Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405. Окончательный выбор трассы профиля произведен с учетом особенностей рельефа. Линия профиля с одной стороны проходит восточнее Имандинско-Летнинского разлома и наиболее напряженной линейной складчатой зоны, с другой стороны – западнее расчлененного рельефа западной окраины плато Путорана с многочисленными резкими водоразделами и геоморфологическими уступами.

2. Сейсмический временной разрез по профилю Тынепская скв. 215 – Хантайская скв. 405, отработанному в наименее нарушенной части западного борта Курейской синеклизы, сможет увязать воедино субширотные региональные сейсмические маршруты Светлая скв. 1 – Хошонская скв. 256, о. Диксон – оз. Хантайское и речной

профиль по р. Нижняя Тунгуска. Полученные материалы позволят проследить фациальные изменения кембрийских отложений, аналогичные исследованным особенностям разреза кембрия восточнее – на региональном профиле «Алтай – Северная Земля».

3. Крестом профилей планируется исследовать строение юго-западной части Ламско-Хантайского мегапрогиба и Типтурской гравитационной аномалии. Будет исследован абсолютно не изученный сейсмическими методами участок Сибирской платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баженова Т. К., Казаис В. И.** История нефтегазообразования и нефтегазонакопления на северо-западе Сибирской платформы (историко-геохимический и структурно-исторический анализ) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6, № 2. – Точка доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/15_2011.pdf.

2. **Геологическая** карта Сибирской платформы и прилегающих территорий. Масштаб 1:1 500 000 / гл. ред. Н. С. Малич. – М.: ВСЕГЕИ, 1999.

3. **Гравиметрическая** карта России и прилегающих акваторий. Масштаб 1:2 500 000 / А. В. Липилин, О. В. Петров и др. – М.: ВСЕГЕИ, 2010.

4. **Мигурский А. В.** Виргации дислокаций и прогноз погребенных поднятий в зоне сочленения Сибирской платформы с Байкало-Патомским нагорьем // Фундаментальные проблемы геологии и тектоники Северной Евразии: тез. докл. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – С. 42–44.

5. **Опыт** изучения Чайкинского поднятия – крупного объекта нефтегазопоисковых работ на Сибирской платформе / А. В. Мигурский, В. С. Старосельцев, Н. В. Мельников и др. // Геология и минеральные ресурсы Сибири – 2010. – № 4. – С. 14–25.

6. **Тектоническая** карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. Масштаб 1:2 500 000 / ред. В. С. Старосельцев. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006.

7. **Подурушин В. Ф., Недашковская О. В.** Тектоника Норильского рудного района как фактор образования его месторождений // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 6. – С. 4–8.

REFERENCES

1. Bazhenova T.K., Kazais V.I. [The history of oil and gas formation and oil and gas accumulation in the northwest of the Siberian platform (Historical-geochemical and structural-historical analysis)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Oil and gas geology. Theory and practice*, 2011, vol. 6, no. 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/15_2011.pdf. (In Russ.).

2. Malich N.S., ch. ed. *Geologicheskaya karta Sibirskoy platformy i prilegayushchikh territoriy. Masshtab 1:1500000.* [Geological map of the Siberian platform and adjacent territories. Scale 1:1500 000]. Moscow, VSEGEI Publ., 1999. (In Russ.).

3. Lipilin A.V., Petrov O.V., et al. *Gravimetricheskaya karta Rossii i prilegayushchikh akvatoriy. Masshtab 1:2500000* [Gravimetric map of Russia and adjacent water areas. Scale 1:2500000]. Moscow, VSEGEI Publ., 2010. (In Russ.).

4. Migurskiy A.V. [Dislocation virgations and forecast of buried uplifts in the junction zone of the Siberian Platform with the Baikal-Patom upland]. *Fundamental'nye problemy geologii i tektoniki Severnoy Evrazii. Tez. dokl.* [Fundamental problems of geology and tectonics of Northern Eurasia. Theses of reports]. Novosibirsk, SB RAS, "Geo" Publ., 2001, pp. 42–44. (In Russ.).

5. Migurskiy A.V., Staroseltsev V.S., Melnikov N.V., et al. [The experience of studying the Chaykinsky uplift – a major object of oil and gas prospecting on the Siberian Platform]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2010, no. 4, pp. 14–25. (In Russ.).

6. Staroseltsev V.S. *Tektonicheskaya karta neftegazonosnykh provintsiy Sibirskoy platformy. Masshtab 1:2500000* [Tectonic map of oil and gas bearing provinces of the Siberian platform. Scale 1: 2500000]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2006. (In Russ.).

7. Podurushin V.F., Nedashkovskaya O.V. [Tectonics of the Norilsk ore region as a factor in the formation of its deposits]. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and protection of mineral resources*, 2005, no. 6, pp. 4–8. (In Russ.).

© А. С. Ефимов, Ф. А. Мигурский, М. Ю. Смирнов, 2018

УДК 563.12:551.763.31(571.1-17))

БИОСТРАТИГРАФИЯ ГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕНОМАНА СЕВЕРНОГО ПАЛЕОБИОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ПО ДАННЫМ ФОРАМИНИФЕР)

В. М. Подобина, Г. М. Татьянин

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

№ 2(34) ♦ 2018

Обобщены сведения по биостратиграфии морских отложений сеномана в пределах северного палеобиогеографического района. В этом районе изучены разрезы ряда скважин на площадях Ван-Еганской, Парусовой, п-ова Ямал. Кроме того, приведены данные по морским отложениям сеномана в разрезе скв. Е-150 юго-восточного района. В уватском горизонте, представленном морскими фациями, обнаружены характерные для сеномана агглютинированные кварцево-кремнистые фораминиферы. Сходство сеноманских видов в этих районах Западно-Сибирской и Канадской провинций дали возможность отнести их к единой Арктической палеобиогеографической области одноименного циркумполярного пояса.

Ключевые слова: *сеноман, уватский горизонт, фораминиферы, северный палеобиогеографический район, Западно-Сибирская провинция.*

BIOSTRATIGRAPHY OF SENOMANIAN GAS DEPOSITIONS OF THE NORTHERN PALEOGEOGEOGRAPHICAL REGIONS OF WEST SIBERIA (ON FORAMINIFER EVIDENCE)

V. M. Podobina, G. M. Tatiyanin

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The article summarizes the biostratigraphy of the Cenomanian marine sediments within the northern paleobiogeographical area. In this region sections of some wells of Van-Yeganskaya, Parusovaya and Yamal areas were studied. The article presents data on Senomanian marine deposits in the section of well E-150 in the south-eastern area. Agglutinized quartziferous-silicious foraminifera typical of Cenomanian were found in the Uvat Horizon presented by marine facies. The similarity of the Cenomanian species of the West Siberian and Canadian provinces made it possible to classify them as a single Arctic paleobiogeographic region of the same-named circumpolar belt.

Keywords: *Cenomanian, Uvat Horizon, foraminifera, northern paleobiogeographic region, West Siberian province.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-13-23

В статье обобщены сведения по морским фациям сеномана северного палеобиогеографического района Западно-Сибирской провинции. Эти отложения относятся к уватскому горизонту и включают комплексы фораминифер разной сохранности. Стенки их раковин в основном средне- и грубозернистые кварцево-кремнистые. Кроме северного, В. М. Подобиной [7] установлены и другие палеобиогеографические районы в Западно-Сибирской провинции. В западном (Зауралье) и юго-восточном (окрестности г. Северска, Томский район) обнаружены обедненные комплексы фораминифер, также включающие характерные сеноманские виды. В центральном и восточном районах в уватском горизонте обнаружены только континентальные фации, содержащие обрывки листьев, обломки обуглившейся древесины и спорово-пыльцевые комплексы.

Впервые морские фации верхних слоев уватского горизонта с сеноманскими комплексами фораминифер обнаружены в ряде скважин газоносных Пурпейской и Тазовской площадей северного палеобиогеографического района [6], но наиболее обильные и разнообразные – в ряде разрезов скважин Ван-Еганской площади [2, 3, 5]. Южная граница распространения сеноманской трансгрессии проводится юго-западнее верховьев междуречья Пура и Таза. В. А. Захаровым и др. [1] описан разрез (переходные слои) сеномана – турона в морских фациях на Севере Сибири (р. Нижняя Агапа, северо-восточнее от г. Дудинки). В этой работе верхний сеноман установлен по находкам моллюсков *Inoceramus pictus* Sowberi, нижний турон – по *Inoceramus labiatus* (Scholtheim). Микрофаунистические формы или какие-нибудь микропалеонтологические остатки не были обнаружены (рис. 1).

Материал и методы

Накопленные за последние десятилетия сведения по морским фациям уватского горизонта дали возможность уточнить его стратиграфическое положение. Большое значение при этом имели находки в этих фациях горизонта агглютинированных кварцево-кремнистых фораминифер сеноманского возраста. Наиболее значительные сведения по этой группе организмов получены в разрезах семи сква-

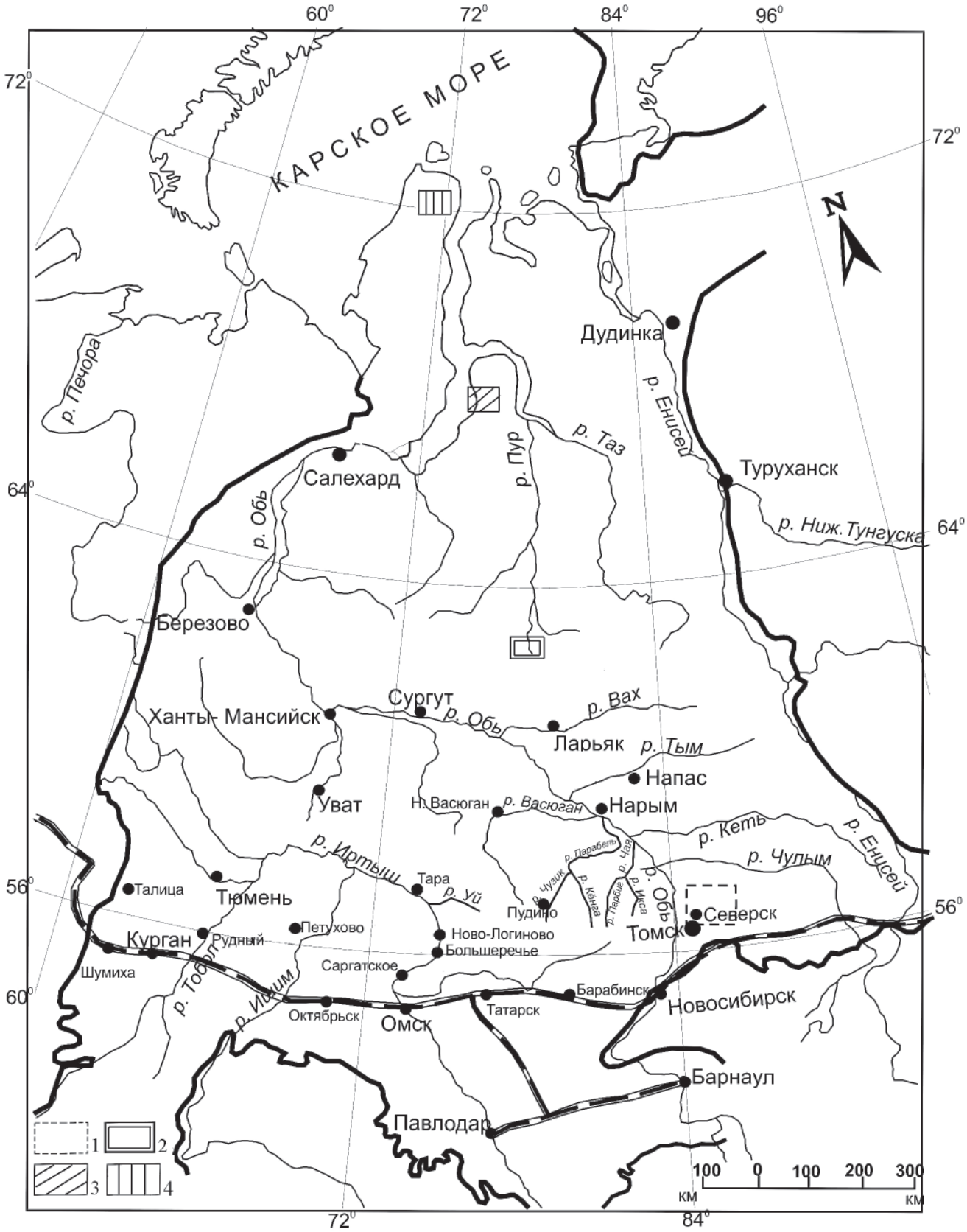
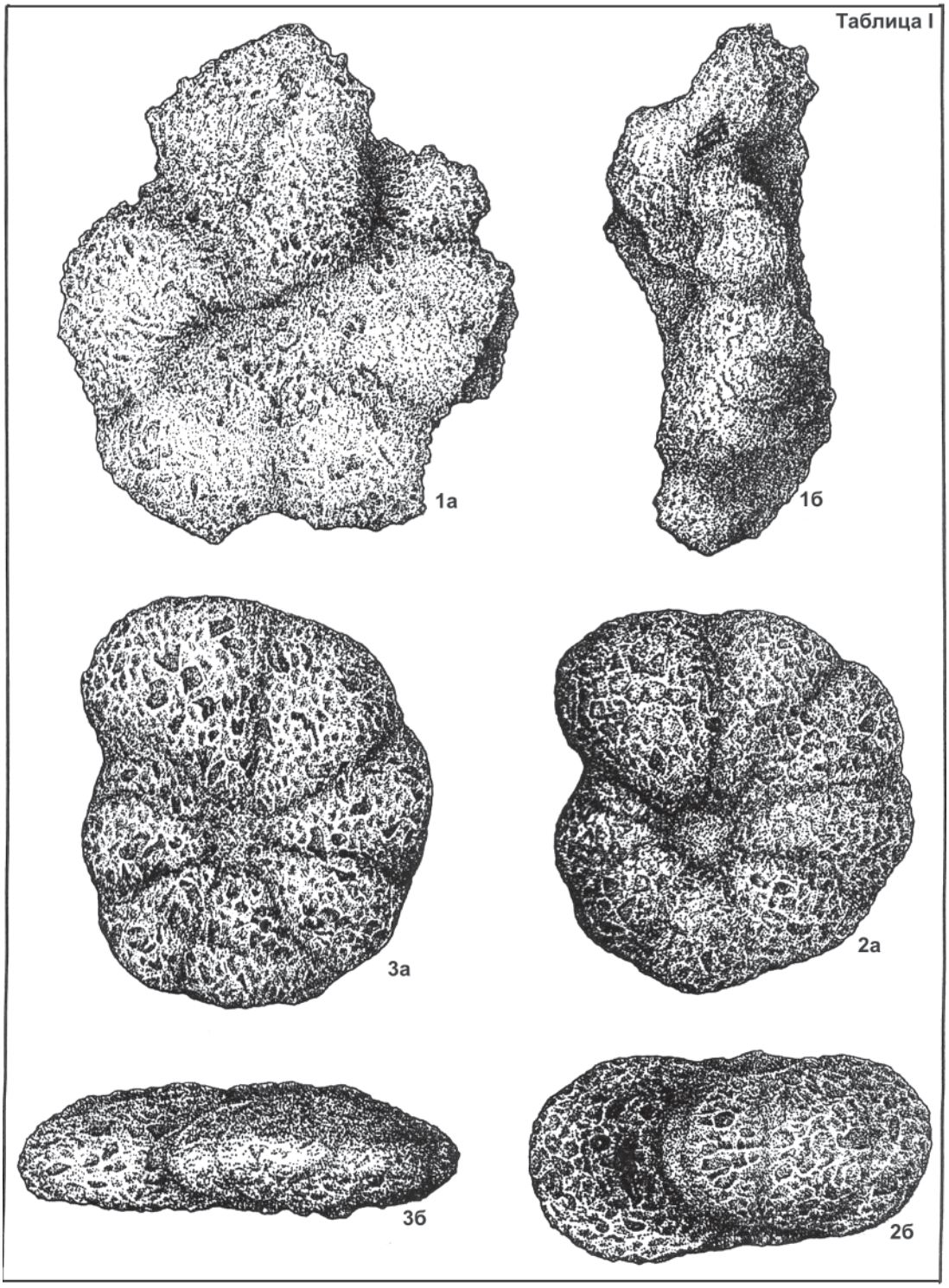


Рис. 1. Схема расположения изученных площадей и скважин, вскрывших сеноманские отложения Западной Сибири
1 – район г. Северска; площади: 2 – Ван-Еганская, 3 – Парусовая, 4 –п-ова Ямал

жин Ван-Еганской площади. При изучении около сотни отобранных в них образцов удалось установить их систематическое положение. Большинство этих видов ранее описаны В. М. Подобиной [3, 4] (табл. I–IV). В других разрезах скважин изучаемого района (площади Парусовая, п-ова Ямал) фораминиферы мало разнообразны и недостаточно хорошей сохранности. В разрезе Парусовой скв. 1016 исследовано 40 образцов, в которых обнаружены фораминиферы, в основном определенные до ро-



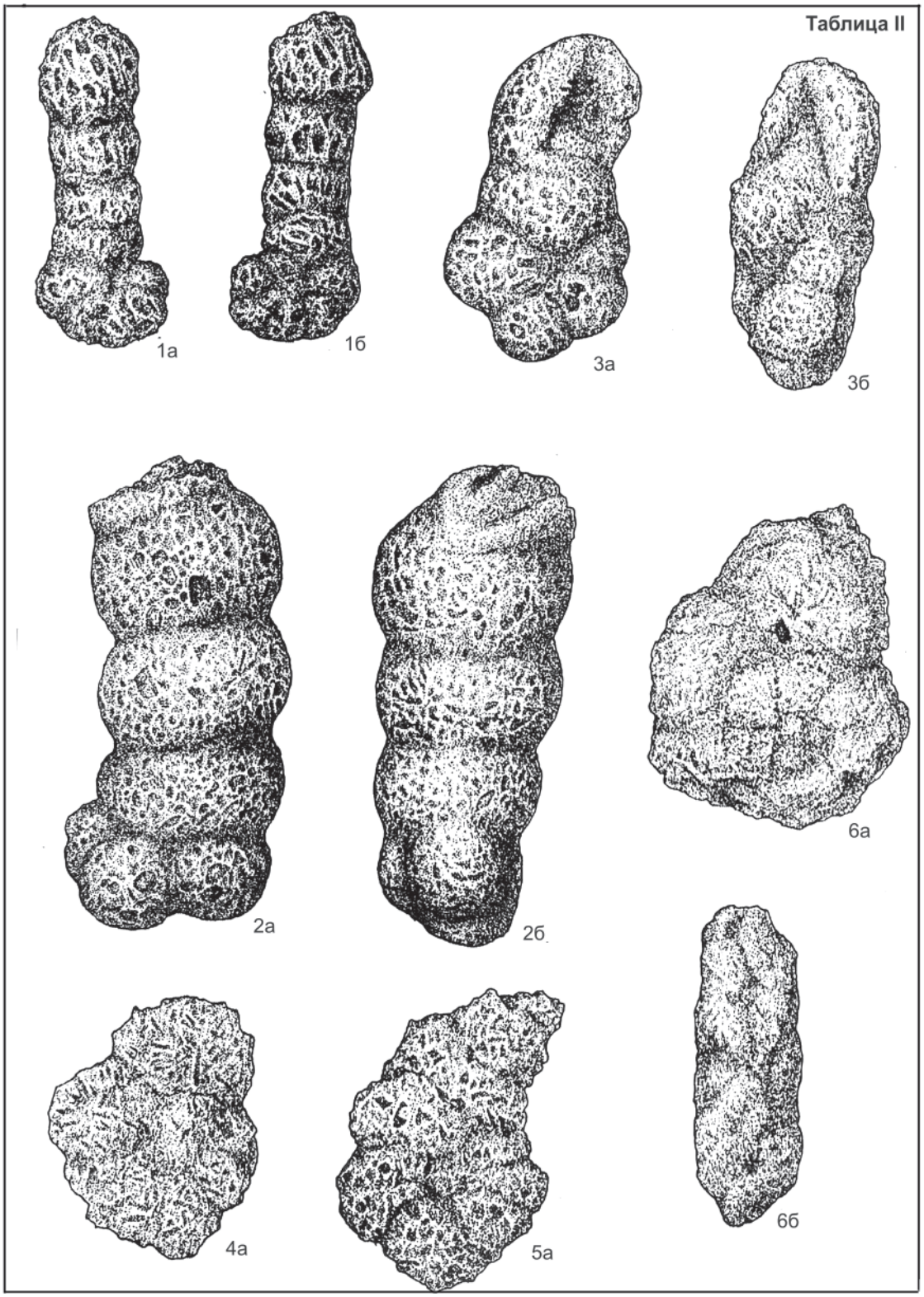
а – вид с боковых сторон или со спинной, б – вид с брюшной стороны или со стороны устья

Фиг. 1. *Trochamminoides ivanetzi* Podobina. Голотип № 3201. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 1000,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 2. *Labrospira rotunda* Podobina. Голотип № 3202. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 3. *Haplophragmoides variabilis* Podobina. Голотип № 3203. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

довых таксонов. Однако присутствие в некоторых разрезах раковин фораминифер хорошей сохранности дало возможность установить позднесеноманский возраст отложений. В разрезах скважин площадей п-ова Ямал обнаружены раковины сеноманских фораминифер, еще менее разнообразные и в большинстве неудовлетворительной сохранности. Определены они также в основном до родового состава. Тем не менее присутствие в уватском горизонте (Северо-Тамбейская скв. 42) характерных видов дало основание датировать вмещающие отложения поздним сеноманом.



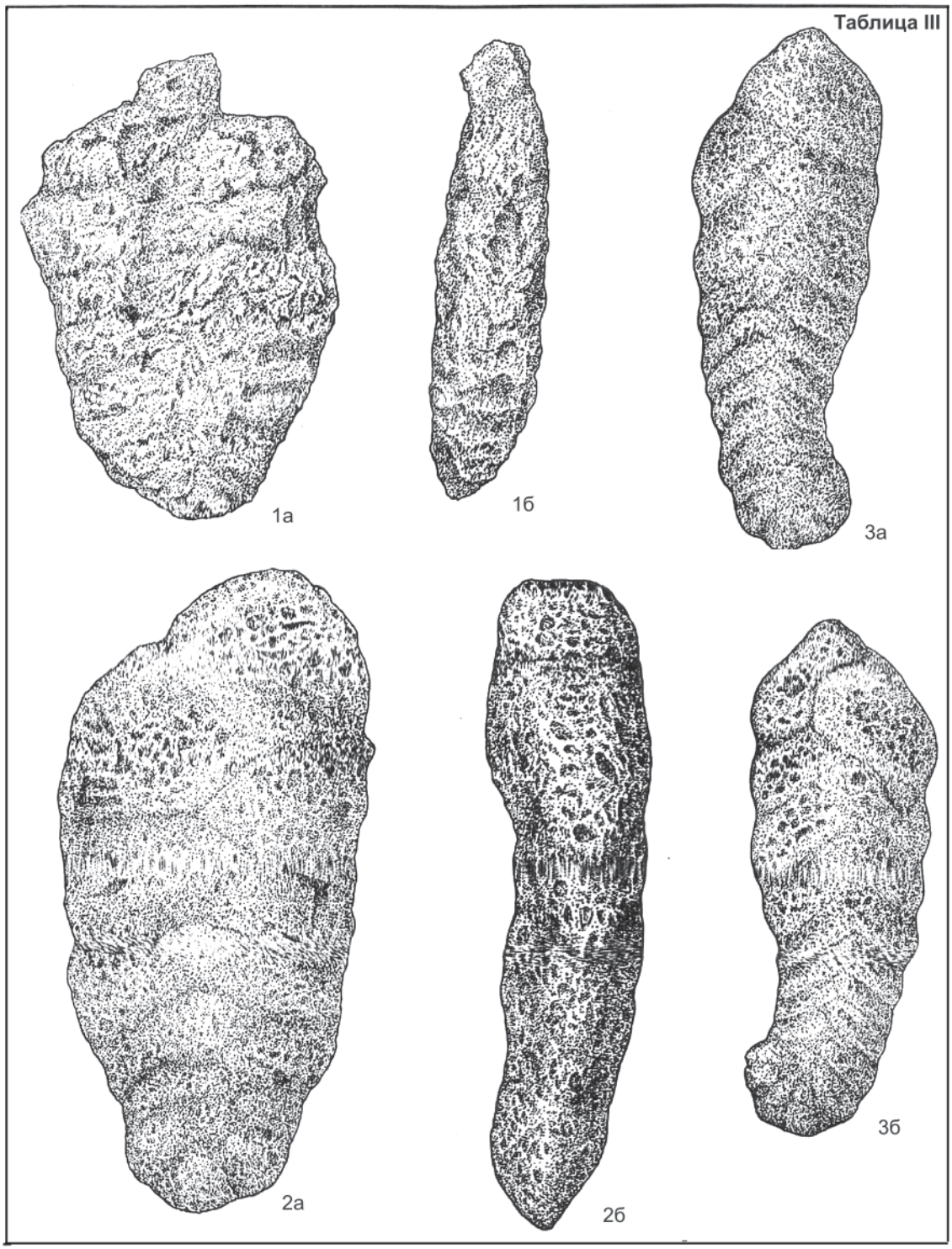
а – вид с боковых сторон или со спинной, б – вид с брюшной стороны или со стороны устья

Фиг. 1. *Ammobaculites wenonahae* Tappan. Экземпляр № 3205. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 2–3. *Haplophragmium ivlevi* Podobina. Голотип № 3209. Паратип № 3209а. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 4, 6. *Ammoscalaria senomanica* Podobina. Голотип № 3208. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56. Паратип № 3208а. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 1002, гл. 951,1 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 5. *Ammomarginulina sibirica* Podobina. Голотип № 3206. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 1002, гл. 951,1 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56



а – вид с боковых сторон, б – вид с брюшной стороны или со стороны устья

Фиг. 1. *Flabellammina acuminata* Podobina. Голотип № 3210. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2010, гл. 959,2 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

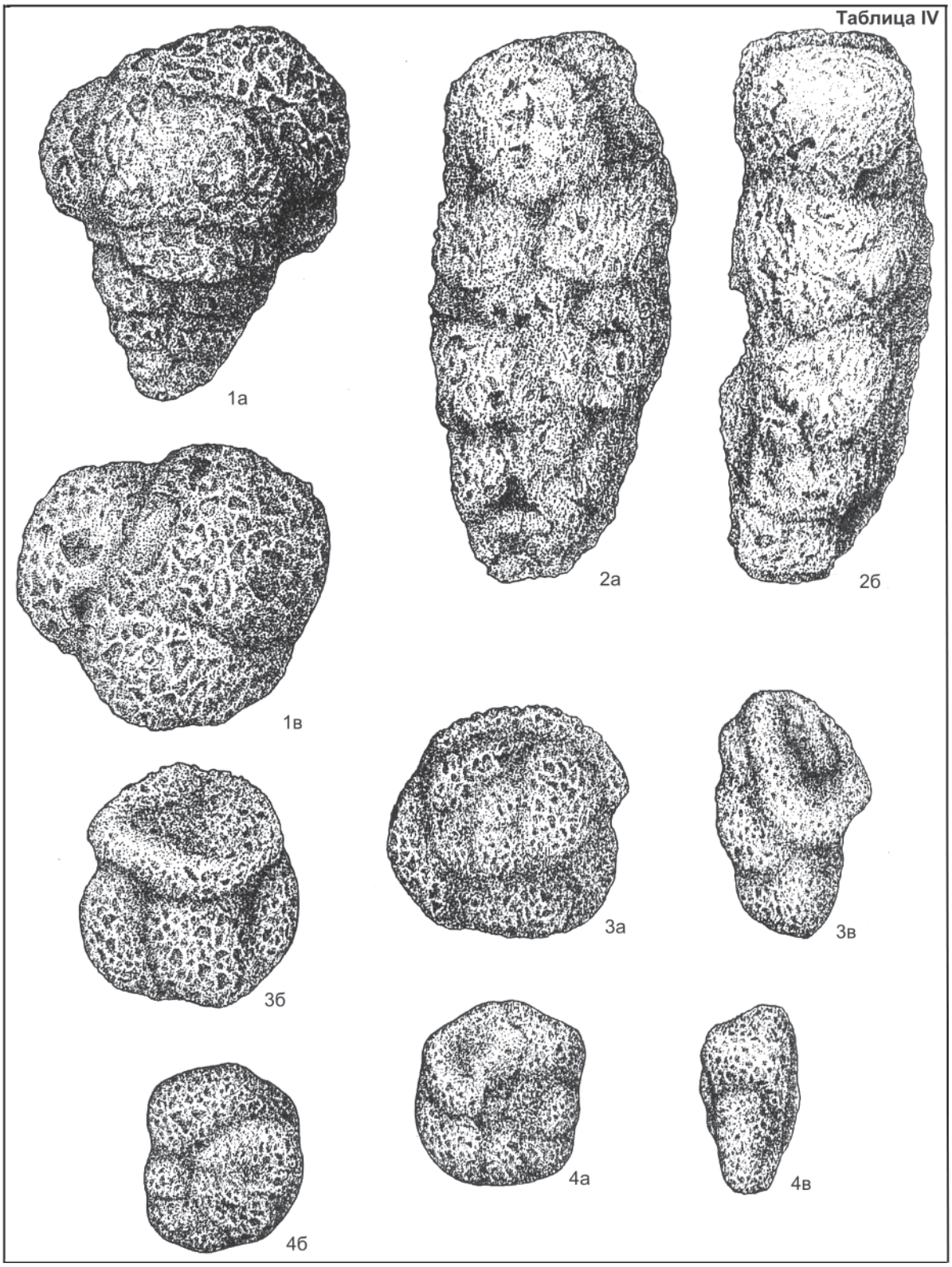
Фиг. 2. *Spiroplectammina longula* Podobina. Голотип № 3213. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 3. *Bollivinopsis perparvus* Podobina. Голотип № 3215. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Все поступившие образцы из разрезов скважин указанных площадей обработаны микропалеонтологическим методом. Затем из отмытого осадка вручную отобраны раковины фораминифер. Дальнейшее их определение проводилось с использованием имеющихся в лаборатории многочисленных монографий и других работ как отечественных, так и зарубежных исследователей.

Результаты исследований

При изучении образцов керна из разрезов скважин площадей Ван-Еганской, Парусовой, п-ова



а – вид с боковых сторон или со спинной, б – вид с брюшной стороны или со стороны устья, в – вид со стороны устья

Фиг. 1. *Verneuilinoides kansasensis* Loeblich et Tappan. Экземпляр № 3217. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 2. *Gaudryinopsis nanushukensis* (Tappan) subsp. *elongatus* Podobina. Голотип подвида № 3212. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2010, гл. 959,2 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 3. *Trochammina wetteri* Stelck et Wall subsp. *tumida* Podobina. Голотип подвида № 3218. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2031, гл. 945,0 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Фиг. 4. *Trochammina subbotinae* Zaspelova subsp. *mutabila* Podobina. Голотип подвида № 3220. Западная Сибирь, Ван-Еганская площадь, скв. 2010, гл. 959,2 м; уватский горизонт, верхний сеноман, ×56

Ямал получены достаточные данные для изучения раковин сеноманских фораминифер из уватского горизонта. Породы, включающие эти формы, почти однообразны по литологии – сероцветные алеврито-песчаные отложения с прослоями темно-серых глин. Два позднесеноманских комплекса фораминифер, выделенные в разрезах семи скважин Ван-Еганской площади, имеют разнообразный систематический состав, в основном представлены средне- и грубозернистыми агглютинированными кварцево-кремнистыми раковинами достаточно хорошей сохранности. Верхний комплекс с *Trochammina wetteri tumida, Verneuilinoides kansasensis* одноименной зоны представлен во всех разрезах из Ван-Еганских скважин. В одном разрезе (скв. 2031, гл. 945,0 м) в глинистых породах, подстилающих туронские глины кузнецовской свиты, обнаружены раковины фораминифер очень хорошей сохранности комплекса верхней зоны (*Trochammina wetteri tumida*, *Verneuilinoides kansasensis*). Подобные комплексы хорошей сохранности на этом стратиграфическом уровне ранее отмечались в темно-серых, почти черных глинах верхов уватского горизонта в разрезах скважин Тазовской и Пурпейской площадей [6].

В разрезах скважин Ван-Еганской площади в нижних отложениях верхней зоны установлены слои с *Gaudryinopsis nanushukensis elongatus*. Этот вид (*G. nanushukensis* (Tappan)) известен в сеноманских отложениях Северной Аляски [7].

Второй комплекс нижней зоны позднего сеномана с *Saccammina micra, Ammomarginulina sibirica* в разрезах Ван-Еганских скважин в систематическом составе несколько отличается от вышележащего. Самые нижние слои этой зоны охарактеризованы примитивными фораминиферами родов *Rhabdammina*, *Psammosphaera*, *Saccammina*, *Hyperammina* и др., что указывает на начало распространения позднесеноманской бореальной трансгрессии, которая не достигала широтного течения р. Обь. По породам и микрофауне нижней зоны отмечается чередование трансгрессивных и регрессивных циклов в распространении бореальной сеноманской трансгрессии. Слои с примитивными формами этой зоны чередуются со слоями с грубозернистыми раковинами относительно высоко организованных таксонов, преимущественно семейств Haplophragmoididae (роды *Labrospira*, *Haplophragmoides*) и Haplophragmiidae (роды *Ammomarginulina*, *Flabellammina, Ammobaculites, Haplophragmium).* В нижележащих отложениях уватского горизонта (средние и нижние слои) в исследованных разрезах семи скважин Ван-Еганской площади обнаружены раковины фораминифер недостаточно хорошей сохранности, в основном с грубозернистой, кварцево-кремнистой стенкой. В Западной Сибири фораминиферы сеномана встречены впервые в разрезах уватского горизонта [2, 5]. Ранее кроме указанных площадей они обнаружены на Пурпейской и Тазовской площадях [6].

Проведено сопоставление позднесеноманских комплексов фораминифер Западно-Сибирской и Канадской провинций. Установлены общие виды, викарианты и географические подвиды, проведена детальная корреляция с уточнением возраста западносибирских фораминиферовых зон и слоев верхнего сеномана. Видовой состав этих зон во многом сходен с таковым Канадской провинции (Северная Канада и Северная Аляска). Обе провинции относятся к единой Арктической палеобиогеографической области [7, 9, 10] (рис. 2).

В работе В. М. Подобиной [4] сообщалось о существовании Енисейского залива, который в виде узкого и длинного рукава протянулся до окрестностей г. Северска. Найденные здесь в разрезе скв. Е-150 (юго-восточный палеобиогеографический район) сеноманские агглютинированные кварцево-кремнистые фораминиферы указывают на распространение трансгрессии с севера в момент ее расширения и углубления. В этом разрезе обнаружены агглютинированные кварцево-кремнистые фораминиферы: *Labrospira rotunda* Podobina, *Haplophragmoides variabius* Podobina, *Ammomarginulina sibirica* Podobina, *Spiroplectammina longula* Podobina, *Trochammina wetteri* Stelck et Wall *tumida* Podobina, *Verneuilinoides kansasensis* Loeblich et Tappan [9, 10]. В этом комплексе присутствует ряд видов, ранее впервые установленных автором в разрезах сеномана Ван-Еганской площади [2, 5, 7, 8]. Возможно, при более детальном исследовании они окажутся младшими синонимами или географическими подвидами американских видов. Но более высокоорганизованные зональные виды атаксофрагмиид, без сомнения, относятся к сеноманским видам Канадской провинции.

По присутствию некоторых видов (в основном зональных *Trochammina wetteri* Stelck et Wall *tumida* Podobina и *Verneuilinoides kansasensis* Loeblich et Tappan), сходных с таковыми из Канадской провинции, можно судить о связях через Арктику фораминифер обеих провинций. Как уже указывалось, обе провинции можно отнести к Арктической палеозоогеографической области одноименного циркумполярного пояса.

Известны также сведения по сеноманским комплексам фораминифер Парусовой площади, расположенной восточнее п-ова Ямал. На рис. 3 показаны интервалы глубин отбора керна, из образцов которого извлечены фораминиферы. Граница между уватским и кузнецовским горизонтами проведена условно, в основном по геофизическим данным. Литологическая и микрофаунистическая характеристика рассматриваемого разреза сопровождается указанием видов-индексов отмеченных комплексов и одноименных фораминиферовых зон.

В инт. 1031,5–1048,8 м скв. 1016 Парусовой площади из пород одного из интервалов указанной скважины, литологически представленных неизвестковыми серыми алевролитами, иногда

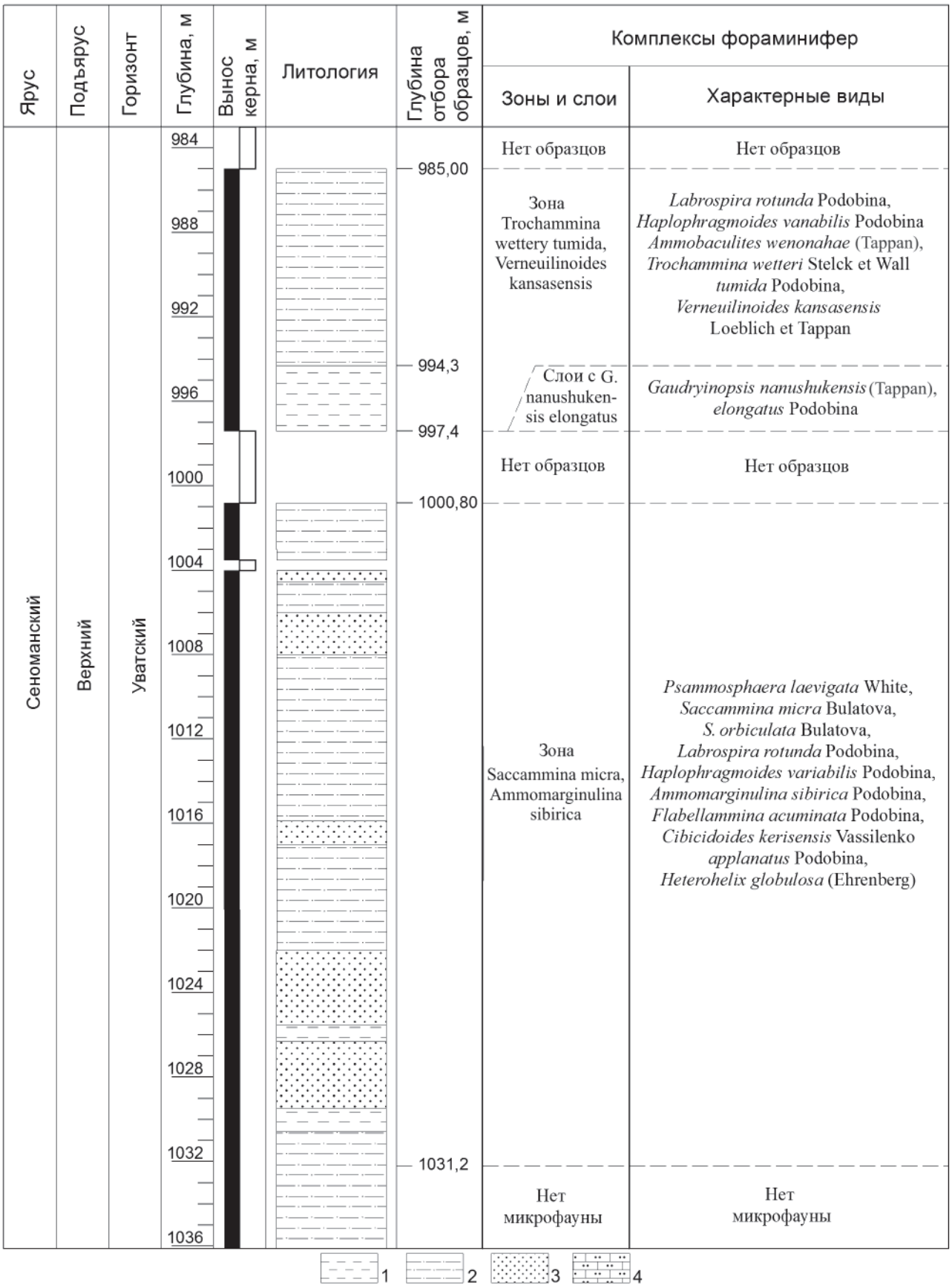


Рис. 2. Литология и микрофаунистическая характеристика верхнего сеномана Ван-Еганской скв. 3618
1 – глины; 2 – алевролиты; 3 – песчаники; 4 – карбонатизированный песчаник

с прослоями светло-серого песчаника, обнаружены единичные агглютинированные крупнозернистые раковины фораминифер, черные хитиноидные выстилки из этих раковин. В последних намечаются углубления в виде отпечатков прежних камер. Большинство раковин фораминифер из уватского

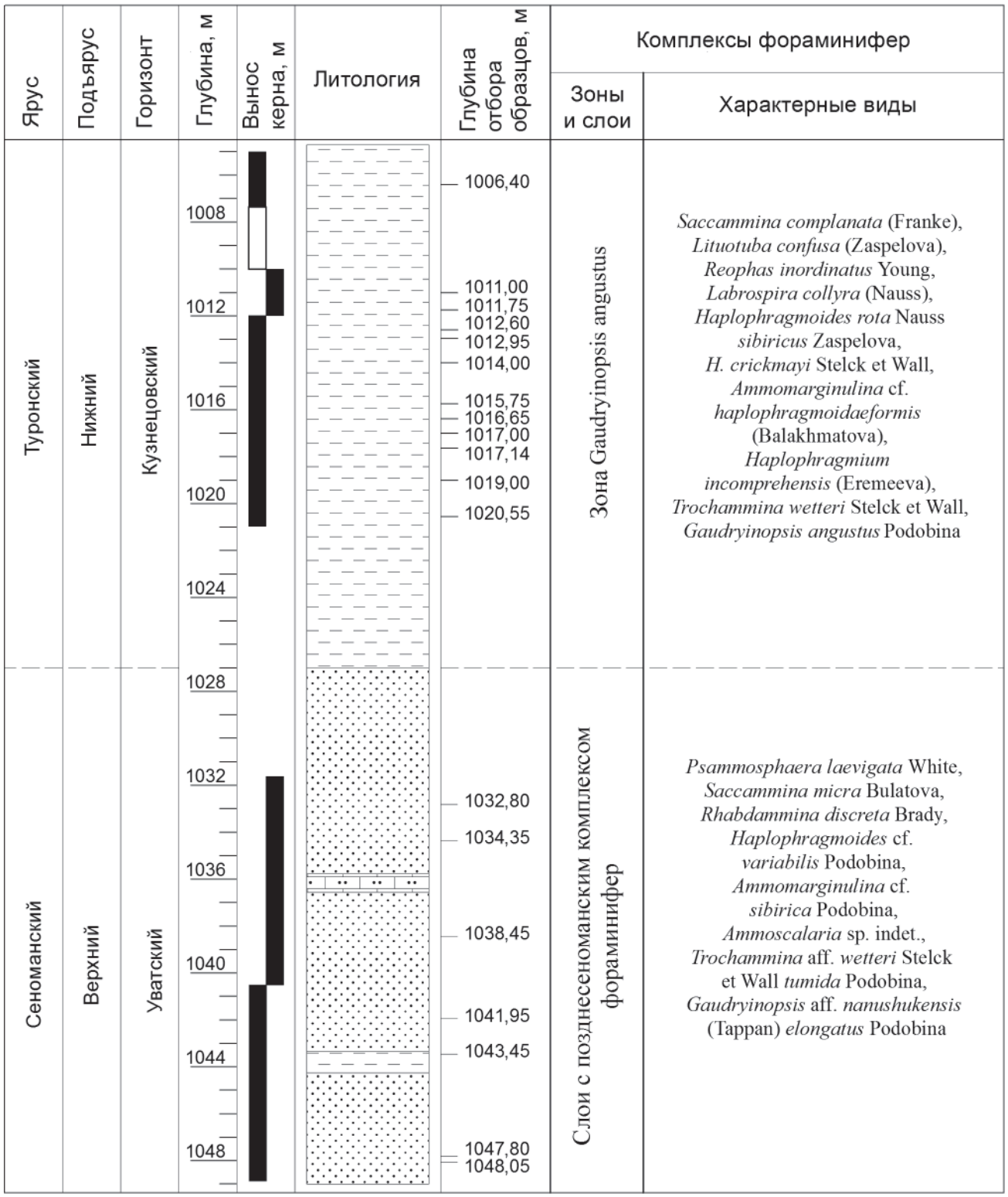


Рис. 3. Литология и микрофаунистическая характеристика верхнего сеномана – нижнего турона разреза Парусовой скв. 1016

Усл. обозн. см. на рис. 2

горизонта этой площади отличаются недостаточно хорошей сохранностью, поэтому видовые признаки определяются с трудом. Наряду с указанными остатками организмов обнаружены желтоватые фрагменты диатомовой флоры в виде мелких округлых дисков.

Во всех образцах, отобранных из уватского горизонта разрезов скважин Парусовой площади, преобладают почти неопределимые остатки раковин фораминифер. Однако наряду с ними из наиболее хорошо сохранившихся форм удалось установить некоторые сеноманские виды родов *Haplophragmoides, Ammomarginulina, Trochammina, Verneuilinoides, Gaudryinopsis*. Также отмечен вид-индекс одного из комплексов – *Gaudryinopsis nanushukensis elongatus*.

В разрезе площади определены следующие виды: *Psammosphaera laevigata* White, *Saccammina micra* Bulatova, *Rhabdammina discreta* Brady, *Haplophragmoides* cf. *variabilis* Podobina, *Ammomarginulina* cf. *sibirica* Podobina, *Ammoscalaria* sp. indet., *Trochammina* aff. *wetteri* Stelck et Wall *tumida* Podobina, *Gaudryinopsis* aff. *nanushukensis* (Tappan) *elongatus* Podobina. Наиболее многочисленны очень уплощенные остатки раковин родов *Ammomarginulina* и *Trochammina*.

Встречены единичные псевдоморфозы известковых раковин фораминифер отряда Rotaliida и остракод. Необходимо дальнейшее обобщение материалов по фораминиферам и стратиграфии сеномана северного района Западной Сибири, так как к этой части разреза приурочены промышленные и, вероятно, пополняемые запасы углеводородов.

Начавшаяся в позднем сеномане бореальная трансгрессия в начале турона значительно расширилась, заняв территорию не только исследуемых площадей, но и всей Западной Сибири: на юге – до возвышенностей Казахстана, на западе – до Урала, на востоке – до меридиана пос. Напас (на р. Тым). Гидрологический режим (глубина, температура, химический состав воды и другие факторы) был благоприятен для повсеместного развития фораминифер раннетуронского комплекса с *Gaudryinopsis angustus*.

В разрезах скважин (Малыгинской 50; Западно-Тамбейской 42, 124; Северо-Тамбейской 205) п-ова Ямал в морских фациях сеномана северного района обнаружены немногочисленные средне- и грубозернистые кварцево-кремнистые агглютинированные раковины фораминифер. Основными видами некоторых из исследованных сеноманских комплексов на п-ове Ямал (Западно-Тамбейская скв. 42) являются *Labrospira rotunda* Podobina, *Haplophragmoides variabius* Podobina, *Ammobaculites wenonahae* Tappan, *Ammomarginulina sibirica* Podobina, *Haplophragmium ivlevi* Podobina, *Verneuilinoides kansasensis* Loeblich et Tappan, *Gaudryinopsis nanushukensis* (Tappan) elongatus Podobina, *Trochammina subbotinae* Zaspelova, *T. wetteri wetteri* Stelck et Wall *tumida* Podobina. Возможно, этот комплекс фораминифер извлечен из верхних слоев уватского горизонта, так как в нем присутствуют виды-индексы верхнего сеномана.

В основном же исследованные сеноманские комплексы фораминифер из разрезов скважин остальных площадей п-ова Ямал мало разнообразны по сравнению с указанным комплексом. Можно предположить, что образцы с ними отобраны из нижних и средних слоев уватского горизонта и соответствуют нижнему – среднему подъярусам сеномана.

Изображения изученных сеноманских таксонов с указанием их местоположения приведены на палеонтологических таблицах I–IV. Все экземпляры находятся в микропалеонтологическом отделе Палеонтологического музея ТГУ. Зарисованы с натуры художницей О. М. Лозовой.

Выводы

Обобщены сведения по фораминиферам из уватского горизонта в северном палеобиогеографическом районе. На их основании определен позднесеноманский возраст верхних слоев горизонта. Установлено, что фораминиферы Западно-Сибирской провинции обладают агглютинированной кварцево-кремнистой стенкой и имеют сходство с подобными сеноманскими видами Канадской провинции. Наиболее значительные сведения по фораминиферам получены из семи разрезов скважин Ван-Еганской площади, расположенной к юго-западу от верховьев рр. Пур и Таз. В разрезах верхних слоев уватского горизонта Ван-Еганской площади установлены две позднесеноманские зоны фораминифер: верхняя – Trochammina wetteri tumida, Verneuiliniodes kansasensis и нижняя – Saccammina micra, Ammomarginulina sibirica. В нижней части верхней зоны выделены слои с видом-индексом *Gaudryinopsis nanushukensis elongatus*.

В средних и нижних слоях уватского горизонта Ван-Еганской площади известны единичные фораминиферы недостаточно хорошей сохранности родов *Labrospira*, *Haplophragmoides*, *Ammomarginulina*, *Trochammina* и др. Такие же сведения, но более краткие, получены при изучении разрезов скважин уватского горизонта площадей Парусовой и п-ова Ямал. Сходство в видовом составе сеноманских фораминифер Западно-Сибирской и Канадской провинций дает возможность установить непосредственную связь этих организмов через Арктику и отнести обе к единой Арктической палеобиогеографической области одноименного циркумполярного пояса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Захаров В. А., Бейзель А. Л., Похиалайнен В. П.** Открытие морского сеномана на севере Сибири // Геология и геофизика. – 1989. – № 6. – С. 10–13.

2. **Подобина В. М.** Новые сведения по фораминиферам и биостратиграфии верхнего сеномана северного района Западной Сибири // Вестн. ТГУ. – 2012. – № 361. – С. 182–187, 3 палеонт. табл.

3. **Подобина В. М.** Палеозоогеографическое районирование Западной Сибири в позднем сеномане (по данным фораминифер) // Вестн. ТГУ. – 2013. – № 371. – С. 189–196, 5 палеонт. табл.

4. **Подобина В. М.** Палеозоогеография и фораминиферы позднего сеномана Западной Сибири // Геосферные исследования (журнал ТГУ). – 2016. – № 1. – С. 16–23.

5. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия верхнего сеномана северного района Западной Сибири // Вестн. ТГУ. – 2012. – № 362. – С. 189–193, 3 палеонт. табл.

6. **Подобина В. М., Таначева М. И.** Стратиграфия газоносных верхнемеловых отложений северо-восточных районов Западно-Сибирской низменности // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. Вып. 2. – Томск: Изд-во ТГУ, 1967. – С. 89–99.

7. **Podobina V. M.** Paleozoogeographic regionalization of Northern Hemisphere Late Cretaceous basin based on foraminifera // Proceedings of the 4th International Workshop on Agglutinated Foraminifera. Grzybowski Foundation Special Publication. – 1995. – No. 3. – P. 239–247, 5 figs.

8. **Podobina V. M.** Recent data on the Upper Cenomanian foraminifers and biostratigraphy of the northern district of Western Siberia // 9th International Workshop on Agglutinated Foraminifera. Grzybowski Foundation Special Publication. – 2012. – No. 18. – P. 77–79.

9. **Tappan H.** Foraminifera from the Arctic slope of Alaska. Pt. 3. Cretaceous Foraminifera // U. S. Geol. Survey Prof. Paper. – 1962. – No. 236. G. – P. 91–209, pls. 29–58.

10. **Wall J.** Cretaceous Foraminifera of the Rocky Mountain Foothills, Alberta // Res. Council Alberta. – 1967. – Bull. 20. – 185 p., 15 pls.

REFERENCES

1. Zakharov V.A., Beyzel A.L., Pokhialaynen V.P. [The discovery of the marine Cenomanian in the north of Siberia]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1989, no. 6, pp. 10–13. (In Russ.).

2. Podobina V.M. [New information on foraminifera and biostratigraphy of the Upper Cenomanian of the northern region of West Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University*, 2012, no. 361, pp. 182–187. (In Russ.).

3. Podobina V.M. [Paleozoogeographic zoning of West Siberia in the Late Cenomanian (according to foraminifera)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University,* 2013, no. 371, pp. 189–196. (In Russ.).

4. Podobina V.M. [Paleozoogeography and foraminifera of the late Cenomanian of West Siberia]. *Geosfernye issledovaniya. Zhurnal Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Geospheric studies. Journal of Tomsk State University*, 2016, no. 1, pp. 16–23. (In Russ.).

5. Podobina V.M. [Foraminifera and biostratigraphy of the Upper Cenomanian of the northern region of West Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University,* 2012, no. 362, pp. 189–193. (In Russ.).

6. Podobina V.M., Tanacheva M. I. [Stratigraphy of the Upper Cretaceous gas-bearing deposits in the northeastern regions of the West Siberian Lowland] *Novye dannye po geologii i poleznym iskopaemym Zapadnoy Sibiri* [New data on geology and mineral resources of Western Siberia]. Tomsk, Tomsk Univ. Publ., 1967, issue 2, pp. 89–99. (In Russ.).

7. Podobina V. M. Paleozoogeographic regionalization of Northern Hemisphere Late Cretaceous basin based on foraminifera. *Proceedings of the 4th International Workshop on Agglutinated Foraminifera*. Grzybowski Foundation Special Publication, 1995, no. 3, pp. 239–247, 5 figs.

8. Podobina V. M. Recent data on the Upper Cenomanian foraminifers and biostratigraphy of the northern district of Western Siberia. *9th International Workshop on Agglutinated Foraminifera.* Grzybowski Foundation Special Publication, 2012, no. 18, pp. 77–79.

9. Tappan H. Foraminifera from the Arctic slope of Alaska. Pt. 3. Cretaceous Foraminifera. U. *S. Geol. Survey Prof. Paper,* 1962. no. 236, pp. 91–209, pls. 29–58.

10. Wall J. Cretaceous Foraminifera of the Rocky Mountain Foothills, Alberta. *Res. Council Alberta*, 1967. bull. 20. 185 p., 15 pls.

© В. М. Подобина, Г. М. Татьянин, 2018

№ 2(34) ♦ 2018

УДК (551.24: 551.4): 551.76/.77(571.1)

МОРФОГЕНЕЗ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕЗО-КАЙНОЗОЙСКОГО ЧЕХЛА НА ПРИМЕРЕ КАЙМЫСОВСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П. С. Лапин

Институт нефтегазовой геологии им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

На примере Каймысовской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в рамках исследования неравномерности в проявлении неотектонических движений предложен метод оценки изменений современного морфологического состояния ее мезо-кайнозойского чехла. Метод основан на выделении морфогенетических особенностей развития рельефов земной поверхности, фундамента и верхнеюрских отложений. Эти особенности выделяются в современном разрезе отложений в результате анализа расчлененности и контрастности указанных поверхностей. Метод позволил подтвердить ранее сделанный вывод о невысоких перспективах нефтегазоносности юго-западной части Каймысовской НГО. Показано, что неравномерность неотектонических движений приводит к дифференциации ранее выделенного в верхнеюрских отложениях интервала вероятного проявления нефтегазоносности. Установлено, что неравномерность неотектонических движений отразилась на ряде продуктивных скважин: часть из них, расположенная в области с типичными значениями неотектонических движений, попала в область современных рельефообразующих процессов со значениями меньше типичных. Полученные результаты позволили высказать предположение об уменьшении интенсивности неотектонических движений во времени, что могло сказаться на степени сохранности залежей в пределах объекта исследования.

Ключевые слова: *морфология, морфогенез, неравномерность проявления неотектонических движений, Каймысовская НГО.*

MORPHOGENESIS AS A CRITERION OF EVOLUATION OF PRESENT-DAY CHANGE OF THE MESOZOIC-CENOZOIC COVER MORPHOLOGICAL STATE (CASE STUDY FOR THE KAYMYSOVSKY PETROLEUM REGION IN WESTERN SIBERIA)

P. S. Lapin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia

The method of evaluation of modern morphological changes within the bounds of study of irregularity in occurrence of neotectonic movements of the Mesozoic-Cenozoic cover by the example of the Kaymysovsky petroleum region within the West-Siberian oil-and-gas province is suggested. This method is based on the several peculiarities of morphological evolution features of the earth surface reliefs, basement and Upper Jurassic deposits. They are distinguished in the present section of deposits on the ground of analysis of compartmentalization and contrast range of above-mentioned surfaces. The developed method allowed the author to confirm the previously made conclusion about not high petroleum potential of the south-western Kaymysovsky PR. It is shown that the irregularity of neotectonic movements leads to differentiation of the possible petroleum potential occurrence interval earlier distinguished in Upper Jurassic deposits. It is determined that the irregularity of neotectonic movements had the effect on producing of some wells. Some of them, located in the region with typical values of neotectonic movements, got into the area of modern relief formation processes with values less than typical. Obtained results allowed the author to come out with a suggestion on reduction of intensity of neotectonic movements through time that could influence on degree of accumulation preservation within the exploration target.

Keywords: *morphology, morphogenesis, irregularity in occurrences of neotectonic movements, Kaymysovsky PR.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-24-35

Для прогнозирования перспектив нефтегазоносности нефтегазоносных провинций очень важно знать всю историю формирования осадочных образований, в том числе в неоген-четвертичный период. Это особенно важно для Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП), в которой установлен достаточно молодой возраст формирования современных залежей нефти и газа. Многие исследователи полагают, что заполнение ловушек углеводородами произошло на заключительном этапе ее геологической истории. Так, Ф. К. Салманов [17] сделал вывод о том, что возраст нефтяных залежей на Сургутском своде, скорее всего, олигоценовый.

При исследованиях завершающего этапа развития осадочного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы одним из методов анализа тектонических движений был неотектонический, который характеризует развитие объекта исследования за неоген-

четвертичный этап. В 1950–1990-е гг. проводились интенсивные неотектонические исследования Западно-Сибирской НГП, которые с разной степенью детальности характеризуют особенности ее развития [12–15]. Наиболее полно они отражены на «Карте новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири» [15]. Установлена приуроченность территориального положения месторождений нефти к средним значениям амплитуд неотектонических движений, что позволило использовать полученную закономерность как один из показателей при оценке перспектив нефтегазоноcти отдельных областей. В настоящее время потребовались разработка и усовершенствование методов их обоснованного сокращения. Эти методы, характеризующие неравномерность проявления неотектонических движений за неоген-четвертичный этап, основаны на изучении реперных горизонтов кайнозойской истории развития или рельефа земной поверхности, сформировавшегося под действием этих движений.

Методические аспекты влияния неотектонических движений на развитие мезо-кайнозойского чехла сведены автором в две группы. Первая из них объединяет методы, направленные на выделение в осадочном чехле реперных горизонтов. Они позволяют определять нижнюю возрастную границу проявления неотектонических движений или, с определенной долей вероятности, оценивать неравномерности в осадконакоплении за неоген-четвертичный этап. Увеличение детальности построений возможно за счет введения в значения амплитуд неотектонических движений или безразмерного коэффициента контрастности, или нормированного коэффициента [20]. Для его расчета требуются обобщения разнородного материала, а иногда и построение структурных карт по реперным горизонтам кайнозоя. В эту же группу входят методы, направленные на определение пространственно-временных закономерностей формирования неотектонических структур и оценку их современной активности [5, 11, 18, 21].

Вторая группа объединяет методы, которые позволяют осуществить детализацию проявления неотектонических движений на основе анализа рельефа земной поверхности. Этот подход возможен, поскольку на Западно-Сибирской равнине рельеф земной поверхности создан непосредственно при участии неотектонических движений и может являться реперной поверхностью для их дифференциации. Следует отметить, что в данном случае информативность построенных карт и схем существенно выше. Для отмеченного региона один из таких методов был разработан и применен в середине 1970-х гг. В работе [2] приведены результаты изучения корреляционных связей рельефа – современного и некоторых структурных горизонтов. Авторы исследования, не получив тесной корреляционной зависимости между ними, не подтвердили их унаследованного развития в пределах Западной Сибири. Объяснили они этот факт незначительностью и неравномерностью распределения фактического материала по площади исследования.

В настоящей статье охарактеризованы итоги анализа результирующего взаимодействия эндогенных, экзогенных процессов и морфологии. Анализ позволил исследовать не морфологические, а морфогенетические особенности строения рельефа. Основная цель исследования состояла в изучении (на основе морфогенетических особенностей развития рельефов земной поверхности) фундамента и кровли верхнеюрских отложений, изменения современного тектонического состояния мезо-кайнозойского чехла и его влияния на развитие верхнеюрских отложений. Разработка метода предопределена особенностями строения верхней части разреза мезо-кайнозойского чехла и сложностью его стратиграфического расчленения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) проанализирована возможность применения морфоструктурного анализа для выявления особенностей строения рельефа земной поверхности и фундамента; 2) на основе вычисления значений показателей общего эрозионно-денудационного расчленения рельефа земной поверхности и фундамента осуществлена оценка современной активизации мезо-кайнозойских отложений Западной Сибири в пределах Каймысовской НГО; 3) исследовано влияние новейших движений на положение кровли верхнеюрских отложений, в том числе баженовской свиты, и оценена стабильность ее развития.

Научная новизна исследования определяется необходимостью оценки неравномерности в развитии современных отложений мезо-кайнозойского чехла. После оценки изменения его современного морфологического состояния на основе выделения его морфогенетических особенностей появляется возможность выяснения степени устойчивости развития верхнеюрских отложений. Влияние интенсивности современных процессов на формирование верхнеюрских отложений, в том числе баженовской свиты, определялось на основе сопоставления полученных данных с территориальным положением продуктивных скважин.

Объектом исследования была Каймысовская нефтегазоносная область (НГО). Разрез ее представлен породами палеозойского фундамента и мезо-кайнозойскими отложениями осадочного чехла (рис. 1).

Верхнеюрские отложения представлены баженовской, георгиевской, васюганской и татарской свитами. Первая из них является нефтематеринской толщей с высоким генерационным потенциалом [5]. С другой стороны, это региональный флюидоупор, геомеханическая модель которого отличается уникальной для осадочного чехла Западной Сибирской НГП пластичностью и анизотропией прочностных свойств. Большая часть тектонических разломов

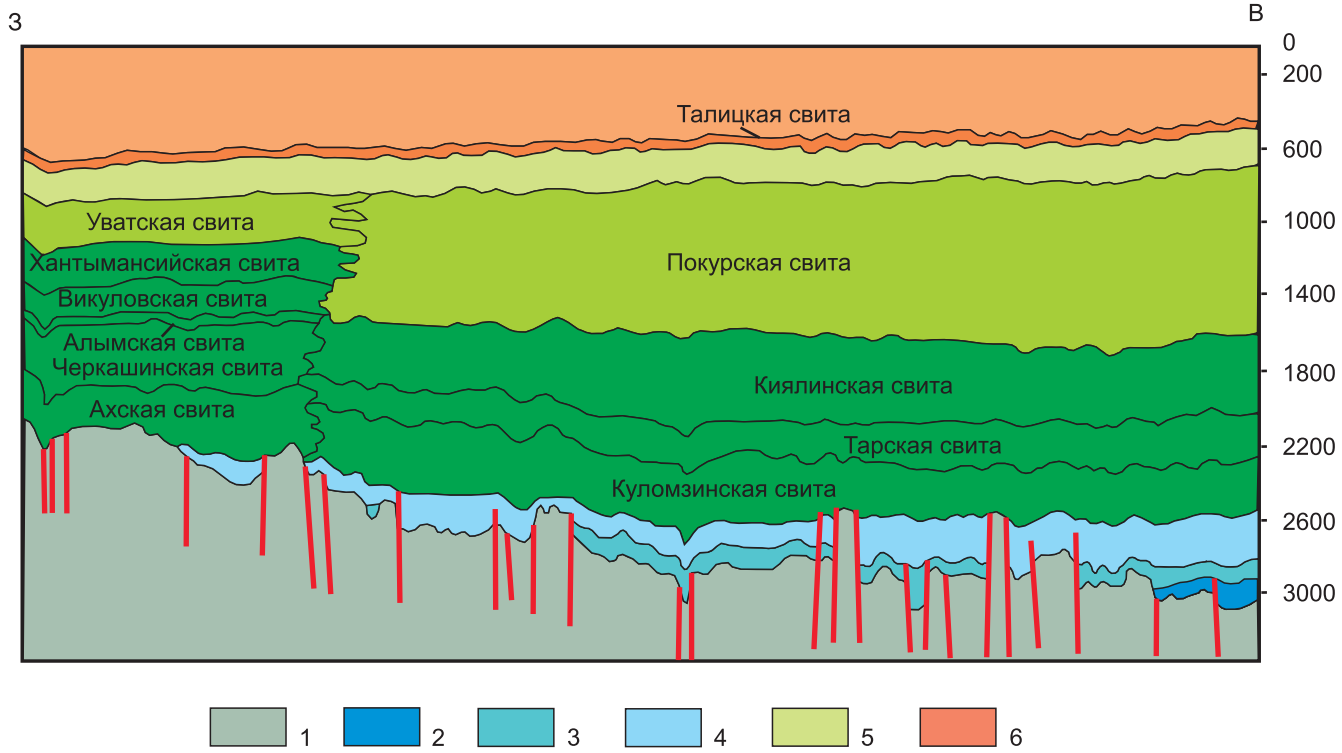


Рис. 1. Сводный разрез осадочного чехла Каймысовской НГО по [19] с дополнениями автора

Внемасштабные условные знаки: 1 – породы фундамента; свиты: 2 – шеркалинская, 3 – тюменская, 4 – баженовская, георгиевская, васюганская и татарская, 5 – кузнецовская, березовская и ганькинская, 6 – люлинворская, тавдинская, алымская, новомихайловская и журавская

постъюрского времени «гасятся» в ней, привнося колоссальный энергетический потенциал, который перераспределяется и в неотектонический этап развития мезо-кайнозойского чехла.

Методика исследования

Как уже указывалось, многие специалисты изучали тектоническую составляющую мезо-кайнозойского чехла на основе анализа морфологических взаимозависимостей его опорных горизонтов. Однако неоднозначные результаты их исследований были объяснены недостаточностью фактического материала.

Отсутствие пространственных взаимозависимостей и наличие морфологических несоответствий между анализируемыми поверхностями, вероятнее всего, свидетельствует о влиянии неотектонических движений на физические свойства геологических тел, границы которых они контролируют, а не на установление морфологических соответствий между ними. Это подтверждается самим фактом выбора нижней возрастной границы. Ближайшая вниз по разрезу от журавского горизонта стратиграфическая граница (михайловский горизонт) является субгоризонтальной. Отсутствие взаимозависимостей этой границы и нижезалегающих может быть связано и с различием в действии рельефообразующих процессов, поскольку рельеф земной поверхности развивается под действием как эндогенных, так и экзогенных процессов, а глубокопогруженные поверхности испытывают влияние эндогенных сил и давление вышележащих масс горных пород. Для совместного анализа необходимо выделить общее свойство, которое отражает целостность изученного объекта.

На первом этапе исследования автор на основе обширного фактического материала сделал попытку проверить унаследованный характер развития отложений мезо-кайнозойского чехла, основываясь на анализе рельефов земной поверхности и фундамента. Этот анализ был осуществлен с привлечением известного коэффициента корреляции Пирсона [4]. Алгоритм и программный продукт написаны на языке C++. Вычисления проведены по ранее разработанной методике [8–10]. Предварительно в пакете Serfer версии 10 построена цифровая модель рельефа с использованием информации, полученной по результатам выполненной радарной съемки рельефа SRMT-3 с сайта http://www.gisa.ru и топографическим картам м-ба 1:1 000 000 с сайта http://loadmap.net/ru/m57213. Цифровая модель рельефа, представленная grd-файлом, использовалась для построения карты земной поверхности и вычисления значений морфометрических показателей. Цифровая модель фундамента по результатам ранее проведенных исследований также представлена grd-файлом: это сеточный файл, который используется для задания и хранения карт высот местности и прочих данных, визуализируемых при помощи приложений Golden Software. Для корректного сопоставления этих свойств осуществлена предварительная подготовка исходных данных. Ис-

пользуемые в анализе значения параметров пересчитаны в единую для всех сеточную модель и систему координат.

В работе введен термин «морфологический тип» (морфотип). С ним связано понятие о представительном участке рельефа, которых характеризуется присутствием элементов – водораздел, склон и днище долины. В данном случае морфотип – это комплексная характеристика локального представительного участка исследуемой территории, описывающая густоту и глубину эрозионного расчленения рельефа. Величину вреза гидросети относительно водораздела отражает показатель глубины эрозионного расчленения, густота которого (сумма временных и постоянных водотоков) характеризует «изрезанность» рельефа. Соответствия между поверхностями устанавливались на основании расчета коэффициента корреляции по 25 их парным значениям, определяемым на основе применения процедуры скользящего окна. В результате выполненного анализа для каждой его центральной точки вычислялось значение коэффициента корреляции, позволившего создать grd-файл и выяснить степень соответствия анализируемых поверхностей.

В дальнейшем для выяснения влияния отмеченных процессов на морфологическое состояние отложений мезо-кайнозойского чехла были оценены его морфогенетические особенности в пределах Каймысовской НГО.

Степень общей расчлененности рельефа земной поверхности и фундамента зависит от многих факторов, но в большей степени от тектонических движений. Для ее оценки существуют различные приемы и методы [3, 20, 22]. Мы сделали это на основе анализа объема перемещаемого обломочного материала в пределах экзогенно-активного слоя рельефа земной поверхности с привлечением общего показателя эрозионно-денудационного расчленения, под которым понимается объем геологического пространства, заключенный между вершинной и базисной поверхностью. Вершинная поверхность объединяет в пространстве абсолютные высоты водоразделов, а базисная – абсолютные высоты тальвегов долин. Оценка влияния новейших движений фундамента выполнена с привлечением общего показателя эрозионно-денудационного расчленения, введенного Г. И. Худяковым и Г. И. Знаменщиковым [22], который характеризует изменение контрастности и расчлененности изучаемых поверхностей и вычисляется как произведение двух морфометрических показателей – густоты и глубины эрозионного расчленения рельефа (первый характеризует плотность тальвегов долин в пределах некоторой области, второй – величину вреза тальвегов долин относительно водораздельного пространства). По их значениям для каждой поверхности рельефа были созданы grd-файлы. Если общий показатель эрозионно-денудационного расчленения рельефа земной поверхности характеризует взаимодействие эндогенных и экзогенных сил, то для фундамента он учитывает изменение длины изопахит объекта исследования и отражает деятельность тектонических движений [3, 22].

При выделении перспективных на нефть и газ участков, кроме традиционных методов, используется анализ неотектонических и современных процессов, опирающийся на сопоставление амплитуд неотектонических движений или интенсивности рельефообразующих процессов в областях нефтегазонакопления. В последнем случае необходимым условием их прогнозирования является верификация полученных данных.

Результаты исследования

Для решения поставленных задач проведен ряд экспериментов. С целью установления зависимости между формами современного рельефа и фундамента осуществлен корреляционный анализ (рис. 2). Коэффициент корреляции ($К_к$) рассчитывался по скользящей палетке, состоящей из 25 пар сравниваемых значений, а результат вычисления присваивался центральному морфотипу. Его значения изменяются от 0 до 1. Выделено пять градаций значений этого показателя (табл. 1), которые объединены в три группы: 1) сильная (от 1,0 до 0,6); 2) средняя (от 0,6 до 0,2); 3) слабая (от 0,2 до 0,0). Каждая группа контролирует определенную площадь исследуемого объекта. Наибольшую площадь занимает вторая группа со средними значениями показателя 58,4 %, третьей соответствует 23,8 % изучаемой территории, а первой – только 17,8 %. Интерпретируя выявленные зависимости и учитывая результаты ранее проведенных исследований [2], автор предположил, что для участков изучаемой

Таблица 1

Распределение площадей по степени взаимозависимости морфологии рельефов земной поверхности и фундамента

Группа значений $К_к$	Интервал значений $К_к$	Число встречаемости значений $К_к$	Площади, соответствующие определенному интервалу значений показателя, %
Сильная	1,0–0,8	755	8,2
	0,8–0,6	889	9,6
Средняя	0,6–0,4	3133	34,1
	0,4–0,2	2232	24,3
Слабая	0,2–0,0	2191	23,8

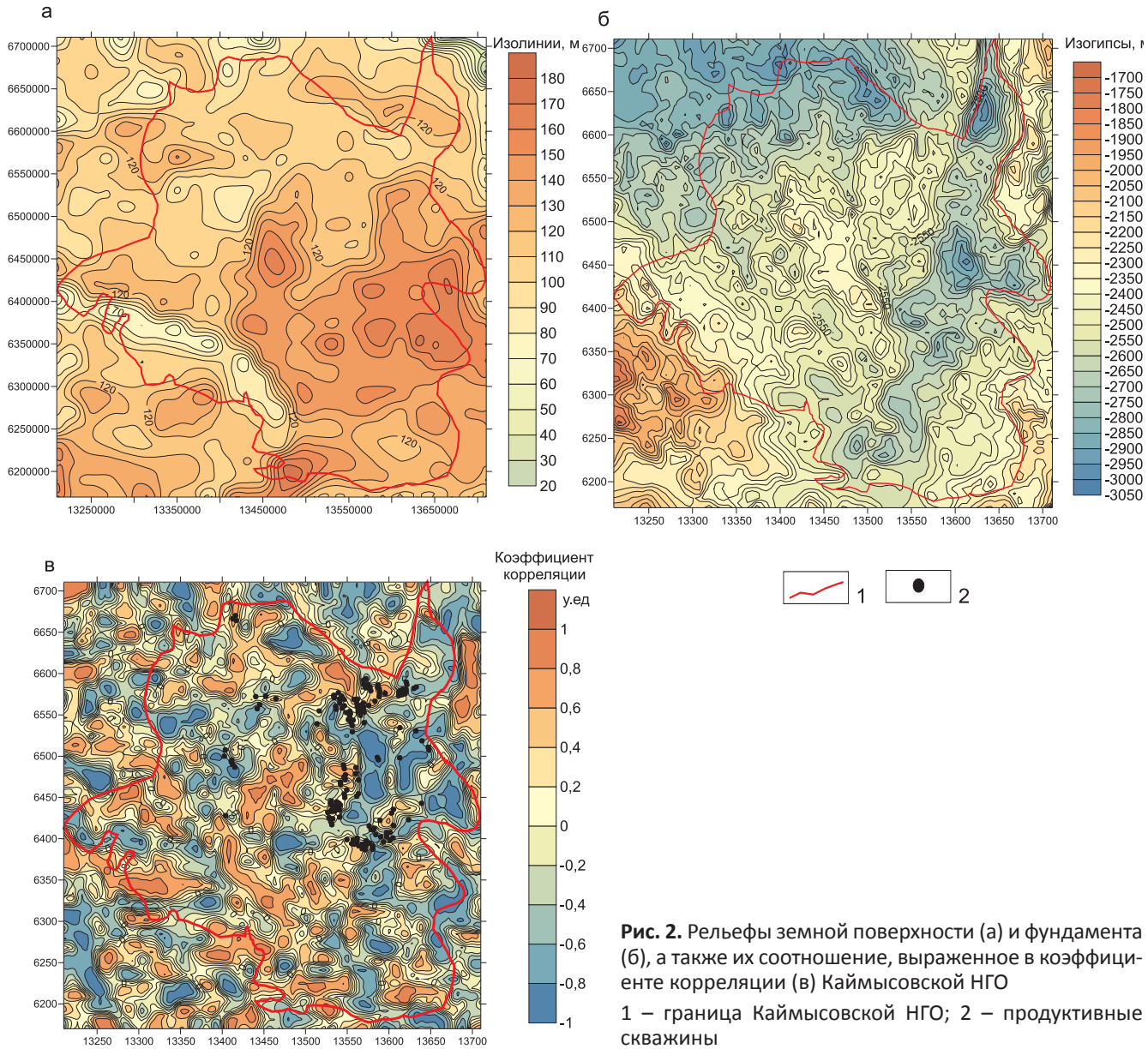


Рис. 2. Рельефы земной поверхности (а) и фундамента (б), а также их соотношение, выраженное в коэффициенте корреляции (в) Каймысовской НГО

1 – граница Каймысовской НГО; 2 – продуктивные скважины

территории с максимальными значениями коэффициента корреляции отмечается унаследованный характер тектонических движений. Полученные результаты анализа позволили выделить лишь ограниченный по площади участок НГО с унаследованным развитием морфологии рельефа земной поверхности и фундамента. Для остальной территории отмечен незначительный характер унаследованного развития.

Выделенные площади, в пределах которых зафиксирован унаследованный характер развития морфологии земной поверхности и фундамента, могут быть увеличены за счет разработки критериев, позволяющих выявить тенденции в изменении форм рельефа. С этой целью исследовались морфогенетические особенности развития рельефа поверхности, которые на уровне взаимодействия морфологии и процессов, ее преобразующих, оценивались на основе анализа результирующего взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Данный подход позволил выяснить условия развития форм рельефа или их элементов как в индивидуальном (онтогенез), так и в историческом (филогенез) развитии.

С привлечением описанной технологии по показателям общего эрозионного расчленения рельефов земной поверхности и фундамента вычислен коэффициент корреляции, который отражает морфогенетические особенности развития анализируемых рельефов (рис. 3). В значениях показателя выделено пять градаций (табл. 2), которые объединены в три группы. Данная группировка значений показателя позволила осуществить сопоставление двух рельефов на основе анализа площадей с максимальными значениями $К_к$ и установить изменения их унаследованного развития. Выявлено большее влияние современных движений на морфологию. Так, если площадь с максимальными значениями $К_к$, вычисленная по данным о морфологическом строении рельефа, составила 17,8 %, то по морфогенетическим – 37,6 %.

При модельных построениях большое значение придается проверке достоверности полученных дан-

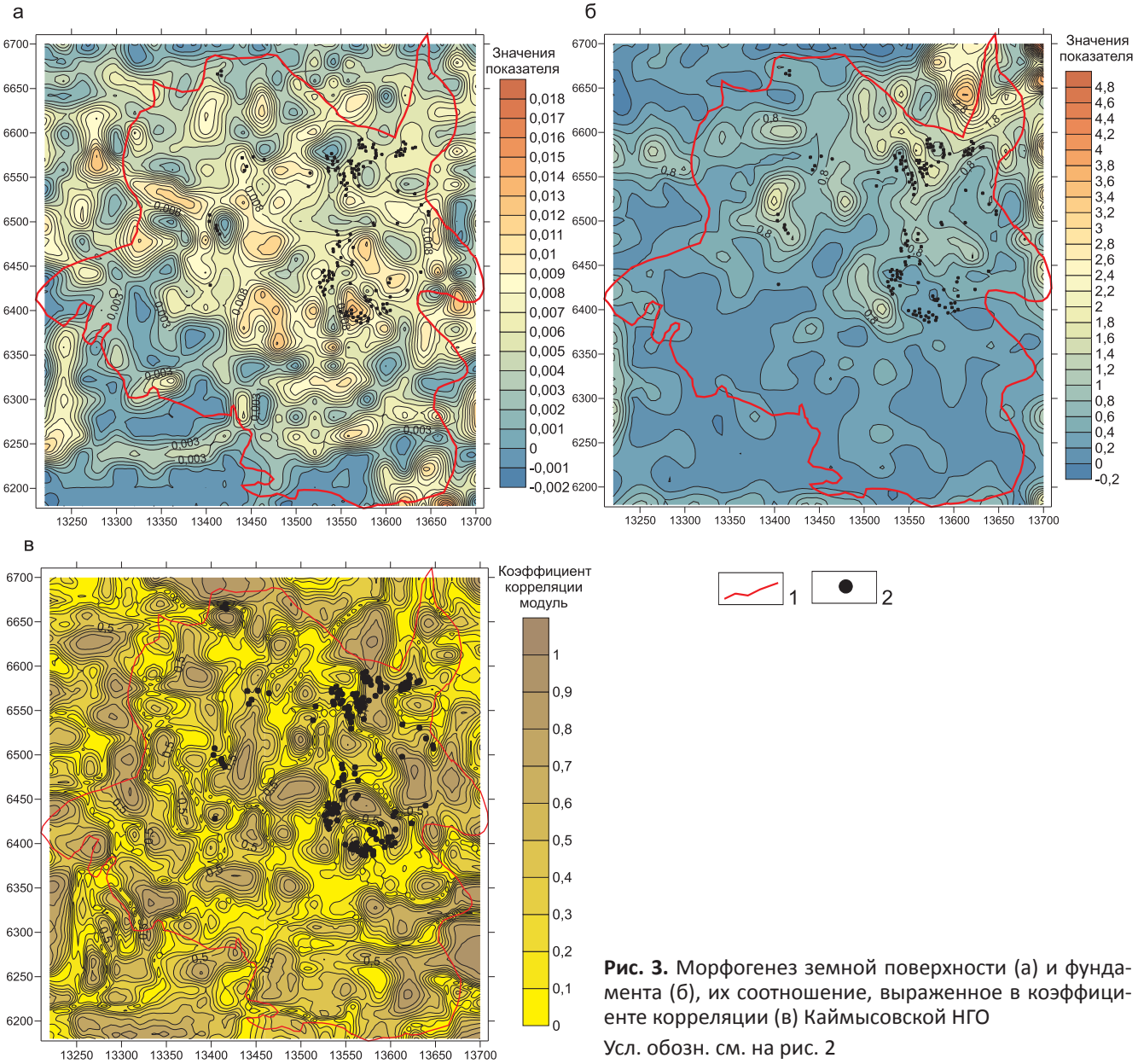


Рис. 3. Морфогенез земной поверхности (а) и фундамента (б), их соотношение, выраженное в коэффициенте корреляции (в) Каймысовской НГО

Усл. обозн. см. на рис. 2

Таблица 2

Распределение площадей по степени взаимозависимости рельефов земной поверхности и фундамента по морфогенетическим особенностям их развития

Группа значений $К_к$	Интервал значений $К_к$	Число встречаемости значений $К_к$	Площади, соответствующие определенному интервалу значений показателя, %
Сильная	1,0–0,8	1460	15,9
	0,8–0,6	1991	21,7
Средняя	0,6–0,4	2002	21,6
	0,4–0,2	1845	20,1
Слабая	0,2–0,0	1902	20,7

ных. Их верификация осуществлялась с использованием известного индекса успешности поисково-разведочного бурения в верхнеюрском комплексе [1]. При сопоставлении выделенных морфогенетических особенностей развития рельефа фундамента и индекса успешности поисково-разведочного бурения в верхнеюрском комплексе отмечены определенные соответствия (рис. 4). Для юго-западной части Каймысовской НГО минимальные значения обоих показателей подтверждают ранее спрогнозированные невысокие перспективы нефтегазоносности изучаемого комплекса, а на остальной территории отмечены увеличение значений анализируемых показателей и их приуроченность к продуктивным скважинам, вскрывшим верхнеюрские отложения. Это подтверждает достоверность полученных данных.

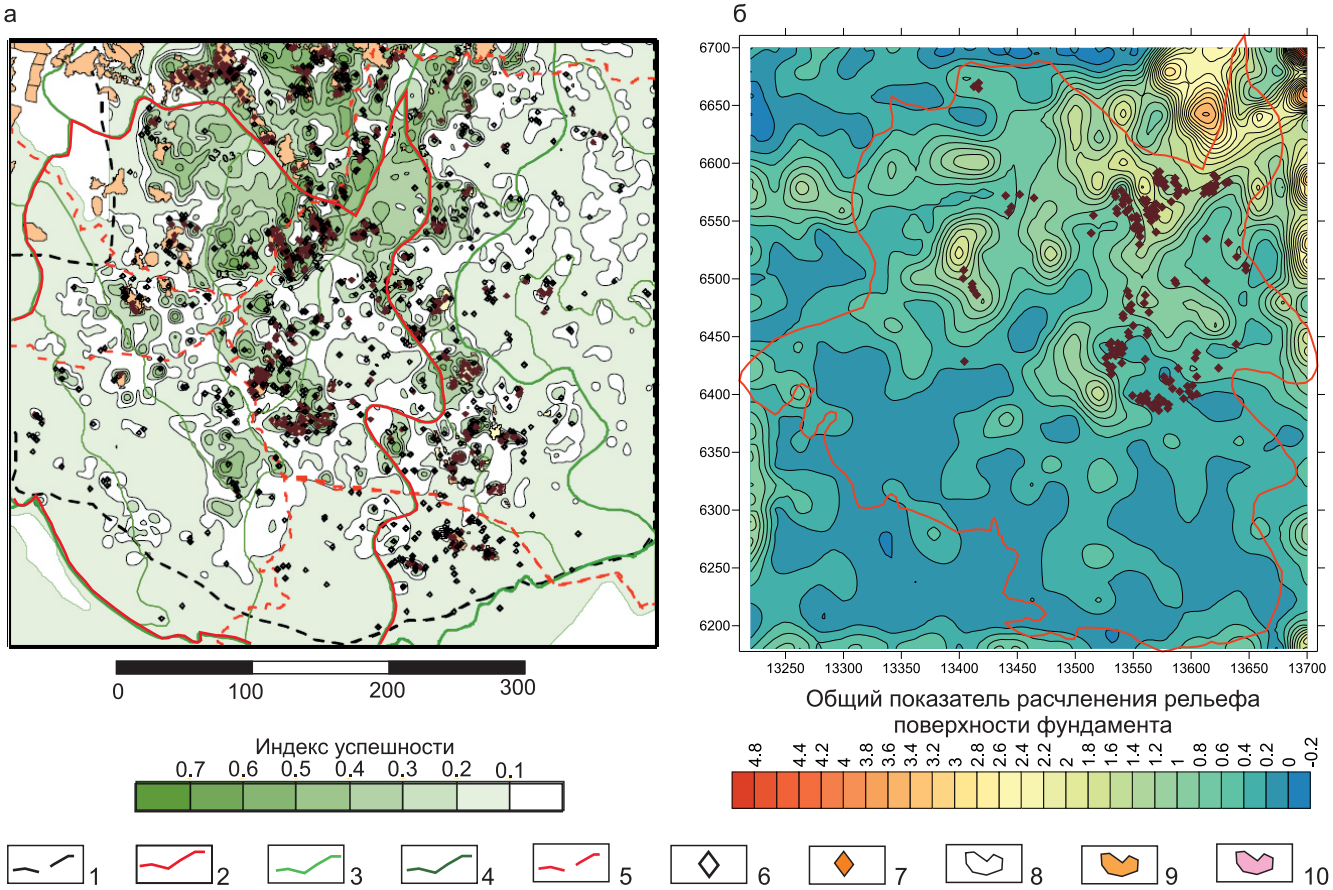


Рис. 4. Индекс успешности поисково-разведочного бурения в верхнеюрском НГК [1] (а) и общий показатель морфологического расчленения рельефа поверхности фундамента (б) Каймысовской НГО

1–5 – границы: 1 – распространения НГК, 2 – НГО, 3 – НГР, 4 – НГП, 5 – административные; 6–7 – скважины, вскрывшие: 6 – верхнеюрские отложения, 7 – верхнеюрские отложения с положительным результатом; 8–10 – месторождения: 8 – нефтяные, 9 – нефтегазовые, 10 – газовые

Полученные результаты и отмеченные особенности тектонического строения, отражающиеся в разрезе Каймысовской НГО (см. рис. 1), позволили разработать алгоритм оценки влияния неравномерности проявления современных движений на верхнеюрский НГК. Он состоит из нескольких этапов. На первом этапе, определив взаимозависимость развития рельефов земной поверхности и фундамента, которая отражает реакцию мезокайнозойского чехла на современные движения, мы предположили, что кровля верхнеюрских отложений также реагирует на них. На втором этапе мы исходили из допущения того, что это влияние может быть различным как со стороны рельефа земной поверхности, так и фундамента и воздействовать на неоднородности развития верхнеюрских отложений. Реализация описанного алгоритма позволила установить реакцию верхнеюрских отложений на современные движения, фиксирующиеся в чехле (рис. 5).

При сопоставлении рельефов земной поверхности и фундамента мезо-кайнозойского чехла выделены морфологические и морфогенетические особенности их развития, которые в большей степени отражают основные тенденции в изменении режима тектонических движений и позволяют оценить их неравномерность. Она проявляется во взаимном наложении областей проявления новейших и современных процессов разной интенсивности. При этом соотношения данных движений могут быть различны. Если максимальные, средние или минимальные значения амплитуд неотектонических и современных движений двух рельефов совпадают, то отмечается унаследованный характер их проявления, в противном случае фиксируется его неравномерность. Наибольший интерес вызывает приуроченность продуктивных скважин к районам, в пределах которых совпадают средние значения амплитуд неотектонических движений с минимальными или максимальными значениями современных движений. В первом случае предполагается, что на завершающей стадии неотектонического этапа тектонические движения способствуют сохранности залежей нефти и газа, а во втором – их разрушению.

Неравномерность проявления тектонических движений на завершающей стадии развития мезо-кайнозойского чехла рассмотрена на основе совместного анализа амплитуд неотектонических движений и деятельности современных рельефообразующих процессов. Для верхнеюрского НГК Каймысовской НГО осуществлено сопоставление

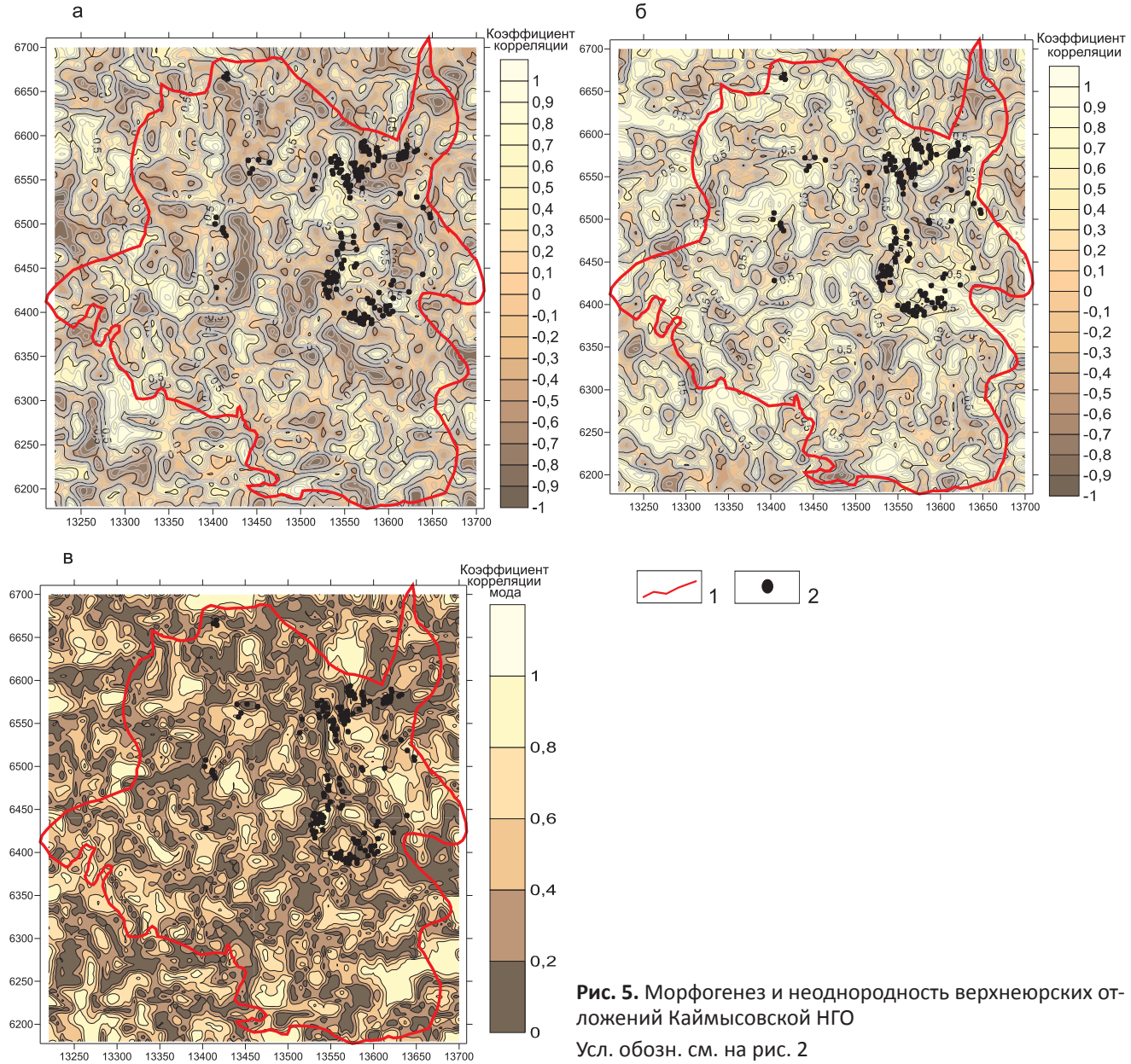


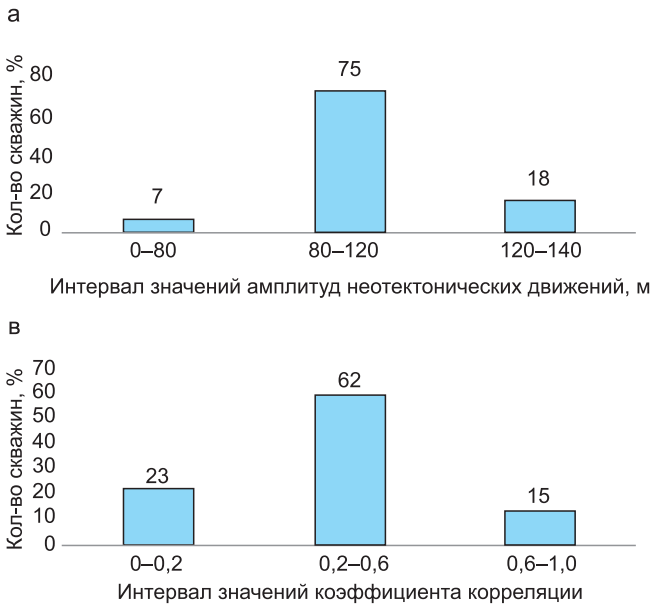
Рис. 5. Морфогенез и неоднородность верхнеюрских отложений Каймысовской НГО

Усл. обозн. см. на рис. 2

продуктивных скважин с интенсивностью неотектонических и современных движений, что позволило оценить их влияние на расположение продуктивных скважин в верхнеюрских отложениях (рис. 6). Продуктивные скважины, испытывающие влияние современных процессов (см. рис. 6, б, в), сгруппировались в соответствии с ранее выявленной взаимозависимостью месторождений нефти и амплитудами неотектонических движений [14], которая подтверждена настоящим исследованием (см. рис. 6, а). Большинство продуктивных скважин сгруппировалось в районе средних значений показателей. Однако для переходов между районами отмечены различия. При неотектонических движениях средние и высокие значения показателя контролируют 93 % изучаемых скважин, а для современных – 80 %. Это свидетельствует об увеличении числа нефтяных скважин, приуроченных к участкам с незначительной интенсивностью современных процессов.

Заметное, почти в 3 раза (7 % против 20 %) большее увеличение области незначительной активизации современных процессов относительно аналогично выделенной по неотектоническим движениям происходит не за счет изменений в зонах их активного проявления (18 % против 21 %), а за счет изменений в областях их типичных значений (75 % против 59 %).

На рис. 5, в показано пространственное расположение продуктивных скважин верхнеюрских отложений, испытывающих влияние современных движений, а на рис. 6 приведены диаграммы их встречаемости. Наибольший интерес вызвал анализ встречаемости продуктивных скважин, находящихся в районе с максимальными значениями интенсивности современных движений как в верхнеюрских отложениях, так и в пределах всего объема мезокайнозойского чехла. Отмечено их уменьшение на 6 % (21 % против 15 %). Полученные результаты позволили предположить, что уменьшение числа сква-



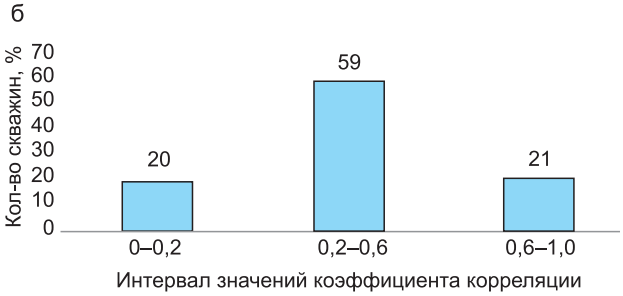


Рис. 6. Приуроченность продуктивных скважин верхнеюрского НГК Каймысовской НГО к зонам проявления неотектонических движений и современных процессов в пределах мезо-кайнозойского чехла

Влияние на мезо-кайнозойский чехол: а – неотектонических движений, б – морфогенетических особенностей развития рельефов земной поверхности и фундамента; в – влияние на верхнеюрский НГК морфогенетических особенностей развития рельефов земной поверхности и фундамента

жин данной группы связано с неоднородностями в верхнеюрских отложениях.

Обсуждение результатов

В пределах Каймысовской НГО специфические особенности тектонического строения мезо-кайнозойского чехла отражены в неравномерности проявления неотектонических движений во времени. Для Западно-Сибирской геосинеклизы в рамках гипотезы об унаследованном характере проявления тектонических движений отмечается единство процесса образования разломов на границе верхней юры и мела (большая часть разломов постъюрского времени не имеет структурного выражения в неогене) и процессов, определенных на основе анализа взаимозависимости между рельефами фундамента и верхнеюрского НГК, а также земной поверхности и верхнеюрского НГК.

В настоящее время общепризнанно, что в развитии рельефа Земли неотектонические движения проявляются неравномерно во времени. Разработка методов оценки этой неравномерности позволяет получить дополнительный критерий, который может быть использован при поиске перспективных на нефть и газ участков. В период интенсивных нефтепоисковых работ неравномерность в развитии мезо-кайнозойского чехла за неоген-четвертичный период, являющаяся индикатором активизации глубокопогруженных геологических тел, оценивалась на основе анализа морфологии рельефа земной поверхности и ряда опорных структурных горизонтов [2], но между структурами не было установлено существенных пространственных взаимозависимостей.

На первом этапе работ на основе установления взаимозависимости между морфологией фундамента и рельефа земной поверхности мы провели оценку унаследованного развития в пределах мезокайнозойского чехла, которая, как и в работах предшественников, оказалась невысокой [2].

На втором этапе анализировались не морфологические, а морфогенетические особенности рельефа. Морфогенетический подход, основанный на анализе современных рельефообразующих процессов, позволил выявить современную составляющую неотектонических движений, установить неравномерность их проявления во времени и использовать полученные данные при локализации перспективных на нефть и газ районов. Сопоставление результатов морфогенетического и морфологического исследований, направленных на выяснение закономерностей развития рельефов земной поверхности и фундамента, позволило обнаружить существенный – почти в 2 раза (17,8 % против 37,6 %) – прирост тесно взаимосвязанных площадей. Различия объясняются консерватизмом в развитии рельефа земной поверхности по отношению к процессам, его преобразующим, поскольку любые внешние воздействия на него в первую очередь влияют на изменения процессов, а затем уже на ее морфологические особенности.

Взаимодействие выявленных морфогенетических особенностей развития рельефа и морфологии мезо-кайнозойского чехла как проявление системных свойств геосреды имеет имеет аналогию в областях, казалось бы, совершенно иной природы, например, с мышечной деятельностью человека. Так, мышцы – активная часть двигательного аппарата. Благодаря их деятельности осуществляется: 1) все многообразие движений между звеньями скелета (туловищем, головой, конечностями); 2) перемещение тела человека в пространстве (ходьба, бег, прыжки и вращения); 3) фиксация частей тела в определенных положениях (сохранение вертикального положения). Любое изменение состояния или положения тела предопределяется деятельностью мышц. Это соответствует представлениям И. Р. Пригожина [16], который высказывался о едином законе самоорганизации в живой и неживой природе.

Осуществлена оценка достоверности полученных результатов. Они хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями [1]. Так, незначительной активизации рельефа фундамента в юго-западной части Каймысовской НГО соответствует минимальный индекс успешности поисково-разведочного бурения [1], что подтверждает существенное влияние глубинных тектонических движений на размещение продуктивных скважин. Интерпретация полученных данных может быть различной. С одной стороны, можно предположить, что группировка продуктивных скважин, характеризующая области нефтегазонакопления, происходит за счет миграции углеводородов под действием новейших и современных движений. С другой стороны, современные движения – это результат унаследованной деятельности тектонических движений глубокопогруженных структур, которые с разной степенью интенсивности проявлялись при формировании мезо-кайнозойского чехла. Вне зависимости от точки зрения рельефообразующие процессы отражают современное состояние мезо-кайнозойского чехла и современное расположение областей нефтегазонакопления, а определение характера унаследованного развития мезо-кайнозойского чехла от интенсивности тектонических движений требует дополнительных исследований [5–7]. На основе сопоставления полученных данных с индексом успешности поисково-разведочного бурения, который был рассчитан по нескольким показателям (мощность песчаных тел, скорость осадконакопления и др.), можно только предположить незначительную тектоническую активизацию в юго-западной части Каймысовской НГО на протяжении формирования мезо-кайнозойского чехла.

Установленные в работе взаимозависимости между морфогенетическими особенностями развития рельефов изучаемых поверхностей подтвердили специфичность проявления тектонических движений в пределах Западно-Сибирской геосинеклизы и при сопоставлении с пространственным распределением продуктивных скважин изучаемого комплекса позволили внести коррективы в процесс выделения перспективных нефтегазоносных районов.

Выводы

В результате проведенных исследований осуществлен морфогенетический анализ отложений мезо-кайнозойского чехла, который позволил детализировать наши представления о неравномерном проявлении неотектонических движений и его влиянии на нефтегазоносность верхнеюрских отложений Каймысовской НГО.

В указанной НГО выполнено сопоставление данных о современной активизации мезо-кайнозойского чехла с индексом успешности поисково-разведочного бурения в верхнеюрском НГК. Индекс рассчитан на основе анализа толщины аргиллитов георгиевской свиты, коэффициента песчанистости горизонта $Ю_1$, нормированной оценки масштабов аккумуляции и суммарной толщины песчаных пачек $Ю_{11}$ и $Ю_{12}$, что позволило подтвердить незначительную перспективность ее юго-западной части. Вероятно, на протяжении достаточно длительного периода формирования здесь отложений чехла отсутствовали интенсивные тектонические движения, которые не способствовали скоплению углеводородов.

Для нефтегазоносных перспективных районов на завершающей стадии неоген-четвертичного этапа развития мезо-кайнозойского чехла установлена неравномерность проявления неотектонических движений, свидетельствующая, с одной стороны, об уменьшении их интенсивности, а с другой – об увеличении дифференциации их проявления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бурштейн Л. М.** Методы количественной оценки перспектив нефтегазоносности (на примере седиментационных бассейнов Сибири): автореф. дис. … д. г.-м. н. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – 45 с.

2. **Варламов И. П., Якименко Э. Л.** Результаты изучения корреляционных связей современного рельефа и рельефа некоторых структурных горизонтов Западно-Сибирской равнины // Структурно-геоморфологические исследования в Сибири и на Дальнем Востоке. – Новосибирск, 1975. – С. 14–18.

3. **Волков Н. М.** Принципы и методы картометрии. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 258 с.

4. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. метод. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2004. – 479 с.

5. **Гурари Ф. Г.** Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 174 с.

6. **Конибир Ч. Э. Б.** Палеогеоморфология нефтегазоносных песчаных тел: пер. с англ. – М.: Недра, 1979. – 256 с.

7. **Корж В. М.** Палеогеографические критерии нефтегазоносности юры Западной Сибири. – М.: Недра, 1978. – 134 с.

8. **Лапин П. С.** Изменение элементов морфогенеза земной поверхности как инструмент эстетических преобразований рельефа // Рельеф и человек. – М.: Научный мир, 2007. – С. 65–71.

9. **Лапин П. С.** Морфологическое моделирование при решении задач современного геоморфогенеза // Проблемы моделирования в геоморфологии. Подходы и методы: матер. Всесоюз. школы-семинара по геоморфологии. – Новосибирск: НГУ, 1990. – С. 40–49.

10. **Лапин П. С., Красавчиков В. О.** Морфометрические показатели при анализе направленности эрозионного расчленения рельефа // Геология и геофизика. – 1990. – № 10. – С. 105–114.

11. **Макеев В. М., Григорьева С. В.** Структурно-геодинамические условия области сочленения юж-

ной части Сибирских платформ и Алтае-Саянского орогена // Геоэкология. – 2015. – № 1. – С. 47–57.

12. **Николаев Н. И.** Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 270 с.

13. **Николаев Н. И.** Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. – М.: Недра, 1988. – 491 с.

14. **Новейшая** тектоника нефтегазоносных областей Сибири / ред. Н. А. Флоренсов, И. П. Варламов. – М.: Недра, 1981. – 239 с.

15. **Новейшая** тектоника Северной Евразии: объяснительная записка к карте новейшей тектоники Северной Евразии масштаба 1:5 000 000 / под ред. А. Ф. Грачева. – М.: Геос, 1998. – 147 с.

16. **Пригожин И. Р.** От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985. – 328 с.

17. **Салманов Ф. К.** К вопросу о времени формирования нефтяных месторождений Сургутского свода // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1969. – № 10. – С. 3–7.

18. **Структурно-геодинамические** условия Москвы / С. В. Григорьева, В. М. Макеев, И. В. Коробова, В. С. Крылова // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 2. – С. 27–35.

19. **Тевризское** газоконденсатное месторождение // Вокруг газа: сетевой журнал. – 2013. – Точка доступа: http://www.trubagaz.ru/gkm/tevrizskoe-gazokondensatnoe-mestorozhdenie (дата обращения 20.11.2016).

20. **Филосовов В. П.** Методика вычисления и геолого-геоморфологическая интерпретация коэффициента расчлененности рельефа // Вопросы морфометрии: сб. науч. тр. Вып. 2 – Саратов: Изд-во ун-та, 1967. – С. 112–147.

21. **Хилько А. П.** Прогноз нефтегазоносности северо-востока Западно-Сибирской плиты на основе неотектонических и геохимических методов: автореф. дис. … к. г.-м. н. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2004. – 23 с.

22. **Худяков Г. И., Знаменщиков Г. И.** Карта и картограмма показателя интенсивности эрозионных процессов // Вопросы картографии: сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. – С. 56–67.

REFERENCES

1. Burshteyn L.M. *Metody kolichestvennoy otsenki perspektiv neftegazonosnosti (na primere sedimentatsionnykh basseynov Sibiri*). *Avtoref. dokt. dis.* [Methods of quantitative assessment of petroleum potential by the example of sedimentary basins of Siberia). Author's abstract of DSc thesis]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2011. 45 p. (In Russ.).

2. Varlamov I.P., Yakimenko E.L. [Results of ccorrelation relationships of present-day relief and relief of several structural horizons of the West Siberian Plain] *Strukturno-geomorfologicheskie issledovaniya v Sibiri i na Dal'nem Vostoke* [Structural and geomorphological studies of Siberia and the Far East]. Novosibirsk, 1975, pp. 14–18. (In Russ.).

3. Volkov N.M. *Printsipy i metody kartometrii* [Principles and methods of cartometry]. Moscow, AS USSR Publ., 1950. 258 p. (In Russ.).

4. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 479 p. (In Russ.).

5. Gurari F.G. *Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti Ob'-Irtyshskogo mezhdurech'ya* [Geology and petroleum prospects of the Ob-Irtysh interstream area. SNIIGGiMS proceedings]. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1959. 170 p. (In Russ.).

6. Konibir Ch.E.B. *Paleomorfologiya neftegazonosnyh peschanyh* [Paleomorphology of petroleum sandbodies]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 256 p. (In Russ.).

7. Korzh V.M. P*aleogeograficheskie kriterii neftegazonosnosti yury Zapadnoy Sibiri* [Paleogeographical criteria of the Jurassic petroleum potential of West Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1978, 134 p. (In Russ.).

8. Lapin P.S. [Transformation of morphogenesis elements of the earth surface as a tool for aesthetic relief changes]. *Rel'ef i chelovek* [Relief and Human Being]. Moscow, Nauchny Mir Publ., 2007, pp. 65–71. (In Russ.).

9. Lapin P.S. [Morphological modeling in modern geomorphogenesis] *Materialy Vsesoyuznoy shkoly-seminara po geomorfologii: Problemy modelirovaniya v geomorfologii. Podkhody i metody* [Proc. All-Soviet Union seminar on geomorphology. Modeling in geomorphology. Approaches and methods]. Novosibirsk, NSU Publ., 1990, pp. 40–49. (In Russ.).

10. Lapin P.S., Krasavchikov V.O. *Morfometricheskie pokazateli pri analize napravlennosti erozionnogo raschleneniya rel'efa* [Morphometric indices in the analysis of erosion dissection orientation]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1990, no. 10, pp. 105–114. (In Russ.).

11. Makeev V.M., Grigor'eva S.V. [Structural-geodynamical conditions of juncture area of the southern Siberian Platforms and Altay-Sayan orogen] *Geoekologiya – Geoecology*, 2015, no. 1, pp. 47–57. (In Russ.).

12. Nikolaev N.I. *Neotektonika i ee vyrazhenie v structure i rel'efe territorii SSSR* [Neotectonics and its expression in the structure and relief of the USSR territory]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1962. 270 p. (In Russ.).

13. Nikolaev N. I. *Noveyshaya tektonika i geodinamika litosfery* [Recent tectonics and geodynamics of the lithosphere]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 491 p. (In Russ.).

14. Florensov N.A. *Noveyshaya tektonika neftegazonosnykh oblastey Sibiri* [Recent tectonics of the oil-and-gas-bearing areas of Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 239 p. (In Russ.).

15. Grachev A.F., ed. *Noveyshaya tektonika Severnoy Evrazii. Ob"yasnitel'naya zapiska k karte noveyshey tektoniki Severnoy Evrazii masshtaba 1:5000000* [Recent neotectonics of Northern Eurasia. Explanatory

Note to the map of recent neotectonics of Northern Eurasia, scale of 1:5000000]. Moscow, GEOS Publ., 1998. 147 p. (In Russ.).

16. Prigozhin I.R. *Ot sushchestvuyushchego k voznikayushchemu* [From present to arising]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 328 p. (In Russ.).

17. Salmanov F.K. [Towards the time of formation of the Surgut arch oil fields]. *Neftegazovaya geologiya i geofizika – Petroleum geology and geophysics*, 1969, no. 10, pp. 3–7. (In Russ.).

18. Grigoryeva S.V., Makeev V.M., Korobova I.V., Krylova V.S. [Structural and geodynamical conditions of Moscow city]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploration and protection of mineral resources*, 2013, no. 2, pp. 27–35. (In Russ.).

19. *Tevrizskoe gazokondensatnoe mestorozhdenie* [Tevrizskoye gas condensate field]. Available at: http://www.trubagaz.ru/gkm/tevrizskoe-gazokondensatnoe-mestorozhdenie (accessed 20 November 2016). (In Russ.).

20. Filosovov V.P. [Calculation technique and geological-geomorphological interpretation of ruggedness index]. *Voprosy morfometrii. Sb. trudov* [Issues of morphology. Proc. the Saratov State University]. Saratov, 1967, issue 2, pp. 112–147. (In Russ.).

21. Khil'ko A. P. *Prognoz neftegazonosnosti severo-vostoka Zapadno-Sibirskoy plity na osnove neotektonicheskikh i geokhimicheskikh metodov. Avroref. kand. diss*. [Prediction of oil and gas occurrence of the north-eastern West Siberian plate based on neotectonic and geochemical methods. Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2004. 23 p. (In Russ.).

22. Khudyakov G.I., Znamenshchikov G.I. [Map and cartogram of index of erosive force processes]. *Voprosy kartografii* [Cartography issues]. Novosibirsk, AS USSR Publ., 1963, pp. 56–67. (In Russ.).

© П. С. Лапин, 2018

№ 2(34) ♦ 2018

УДК 551.243.4:551.72/.73(571.5)

НАДВИГИ ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

В. С. Старосельцев

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

Описаны результаты полевых наблюдений в естественных обнажениях Приенисейской зоны Сибирской платформы. Охарактеризованы надвиговые деформации рифейско-палеозойских и триасовых пород. Это дает возможность обосновать широкое проявление тектонических движений восточной направленности, которое может обусловить поступление углеводородов из уникальной Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции к ловушкам западной окраины Тунгусской синеклизы. Последние представляют собой сложно построенные дислокации, образованные в рифейско-фанерозойское время. Такая геологическая ситуация позволяет надеяться на обнаружение новых богатых скоплений нефти и газа, которые с минимальными затратами можно подключить к трассам трубопроводов от уже открытых западносибирских месторождений. При этом можно использовать полуразрушенные сооружения железной дороги еще сталинских времен.

Ключевые слова: *зоны надвигов, опрокинутое залегание пород, перспективные структуры.*

THRUSTS OF THE WESTERN MARGIN OF THE TUNGUSKA SYNECLISE

V. S. Staroseltsev

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

The article describes the results of field observations in the natural outcrops of the Pre-Yenisei zone of the Siberian Platform. The thrust deformations of Riphean-Paleozoic and Triassic rocks are characterized. It made possible to substantiate a wide manifestation of tectonic movements of the eastern orientation, which can cause hydrocarbons to flow from the unique West Siberian petroleum province to the traps of the western margin of the Tunguska syneclise. The traps are complex dislocations formed in the Riphean-Phanerozoic time. Such a geological situation makes it possible to hope for discovering new rich oil and gas accumulations that can be connected with minimum costs to pipeline routes from already discovered West-Siberian deposits, which can be facilitated by the dilapidated structures of the “Stalin” railroad.

Keywords: *thrust zones, overturned rock bedding, prospect features.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-36-38

Направления надвигания тектонических пластин на западной окраине Тунгусской синеклизы приобрело особое значение после опубликования [2] представлений о вероятной миграции углеводородов из Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на восток в область распространения палеозойских и рифейских отложений правобережья р. Енисей. Здесь могли быть сформированы промышленные скопления углеводородов не за счет битуминозных толщ Тунгусского бассейна, как это считалось длительное время, а за счет богатейшей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Такая трактовка источников скопления нефти и газа на западной окраине Сибирской платформы могла бы существенно увеличить перспективы обнаружения новых богатых скоплений нефти и газа в непосредственной близости от восточного окончания железной дороги сталинских времен на левом и правом берегах р. Енисей. При этом существенно могут сократиться затраты на транспортировку добытого углеводородного сырья по трассам, параллельным трубопроводам от западносибирских месторождений (Ванкорского и др.).

Вторым аргументом, обусловливающим целесообразность изучения надвигов западной окраины Тунгусской синеклизы, является необходимость их учета при составлении опорных стратиграфических разрезов. Это может оказаться неизбежным в зонах опрокинутых надвигов, которые, в частности, встречаются на территории хорошо обнаженных отложений кембрия в бассейне р. Кулюмбе, на восточном склоне Норильского плато и на его юго-западе в бассейне р. Фокина, а также в низовьях р. Курейки и бассейне р. Сухая Тунгуска, где зафиксированы крупноамплитудные узкие грабены, сложенные более молодыми стратиграфическими горизонтами, иногда даже маркирующими покровами раннетриасовых базальтов среди силурийских карбонатов [1]. Это свидетельствует о крупноамплитудных (до 2–2,5 км) клиновидных грабенах, формировавшихся в тылу крупноамплитудных надвигов на восток, непосредственно вблизи западной границы Тунгусской синеклизы. Следует еще раз упомянуть, что надвиги аналогичной направленности характерны и для юрско-меловых отложений богатейшей нефтегазоносной Западно-Сибирской провинции [2], что подчеркивает возможность поступления из ее пределов потока углеводородов, обеспечивающих формирование богатых скоплений на западной окраине Сибирской платформы.

Протяженность зоны надвигов восточной ориентации в поперечном сечении на берегах р. Сухая Тунгуска превышает 5 км у ее западной границы, где на платоновскую свиту нижнего кембрия – венда (?) по крутому надвигу надвинуты терригенные поро-

ды стрельногорской свиты рифея (см. рис. 1 в статье [1]). Обращает на себя внимание проявление надвигов северной направленности непосредственно в слоях, субгоризонтально залегающих западнее надвига преимущественно терригенно-карбонатных отложений стрельногорской свиты. Небезынтересно отметить, что севернее на правом берегу р. Нижняя Тунгуска вблизи пос. Туруханск в уступе надпойменной террасы высотой около 8–10 м в четвертичных рыхлых терригенных отложениях отчетливо выражены надвиговые складки северной ориентации [1]. Напрашивается вывод о повторяемости движения тектонических пластин в северном направлении, по существу, перпендикулярно надвигам субширотной ориентации. Тем не менее надо учитывать, что на рассматриваемой территории господствует субмеридиональная ориентировка долины основной водной артерии (р. Енисей) и отдельных отрезков долин рр. Нижняя и Сухая Тунгуски, которые, скорее всего, приурочены к субмеридиональным отрезкам разрывных нарушений.

В береговых обнажениях субширотного течения р. Нижняя Тунгуска неоднократно встречаются надвиговые нарушения в кембрийских и рифейских отложениях. На ее левом берегу, несколько ниже впадения рр. Летняя и Северная, фиксируется зона субмеридионального Вороновского разлома. В ее пределах на дислоцированные преимущественно карбонатные породы костинской свиты нижнего кембрия в северном направлении надвинуты преимущественно терригенные породы самой нижней в районе стрельногорской свиты рифея. Надвинутая пластина имеет чешуйчатое строение субмеридиональной ориентации на фоне общего погружения на запад. При этом в породах костинской свиты округлые каверны диаметром 1–3 см заполнялись черным пластичным битумом. Чуть ниже по течению на правом берегу р. Нижняя Тунгуска выявлены выходы битумонасыщенных костинских карбонатов Голоярского месторождения.

Ряд интересных наблюдений и замеров был сделан мною на р. Каменка (приток р. Бол. Шориха) в Туруханском районе при детальном картировании дислокаций пород стрельногорской свиты рифея и частично свиты линок. В результате рекогносцировочного маршрута были намечены четыре участка: два с микропликативными осложнениями моноклинального крутого наклона пород по аз. 220–230°, угол 60° и дизъюктивным нарушением моноклинального залегания, затем – один с встречным по разрыву (?) наклоном пород свиты линок, далее – один с пликативными макродислокациями пород. Вблизи уреза воды на наклонной поверхности пойменной террасы в коренных выходах сильно измененных кварцитов стрельногорской свиты, наклоненных по аз. 230–240° под углом 65–70°, проявлены зеркала скольжения, наклоненные по аз. 50° под углом 30–35°. Судя по штриховке и уступам на поверхности скольжения, висячий блок перемещался по аз. 220°.

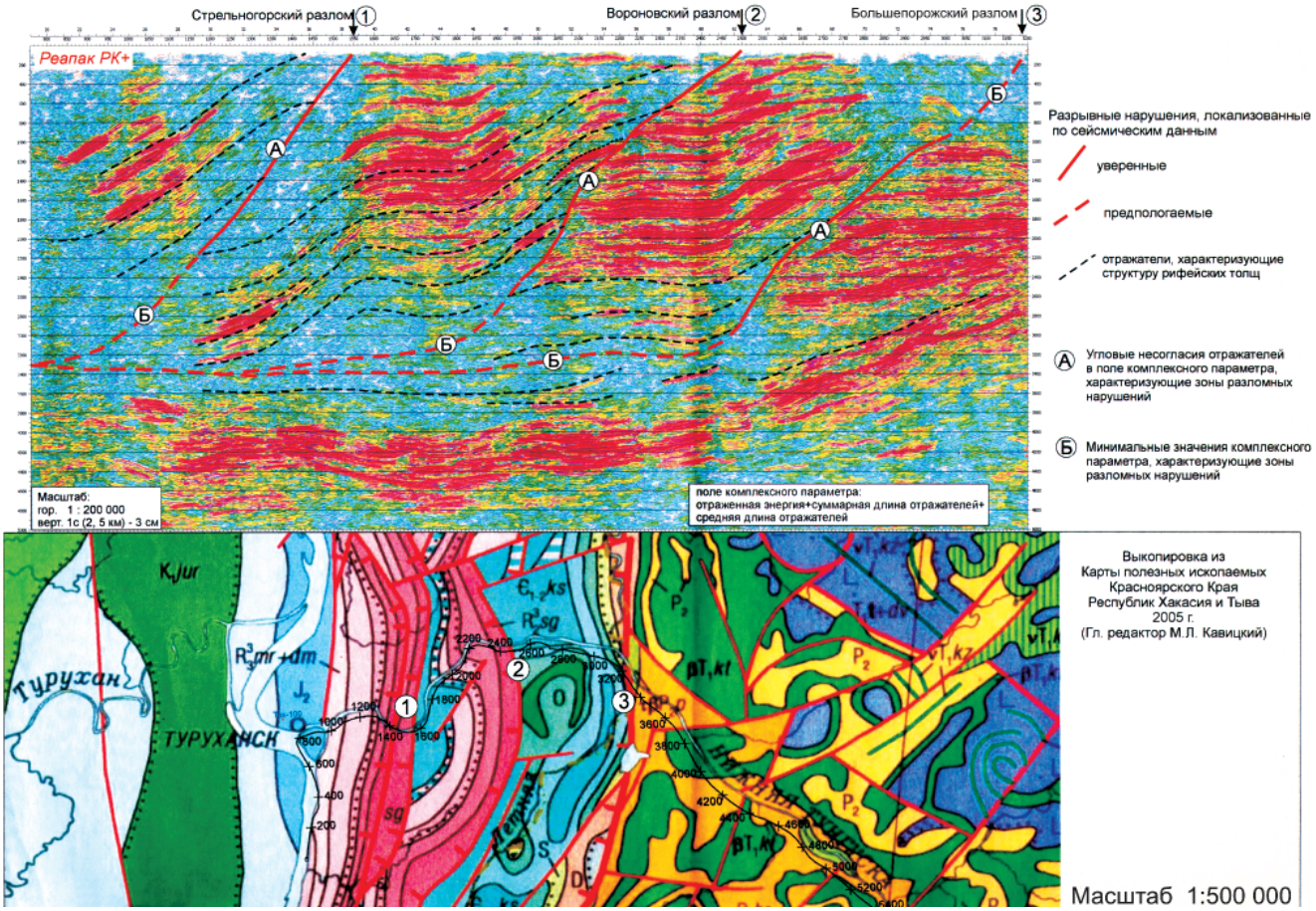
Сопоставляя результаты изучения дислокаций рифейских и венд-кембрийских пород по рр. Сухая Тунгуска и Каменка, можно сделать следующие выводы. Дислокации в районе водопада и обнажения субгоризонтально залегающих пород платоновской свиты и стоящих на голове пород стрельногорской свиты на правом берегу р. Каменка (а также ниже по течению на 10–15 км) имеют преимущественно позднерифейский – ранневендский возраст и субширотную ориентировку, проявляясь в межпластовых проскальзываниях.

Коренные выходы грубоплитчатых кварцитов стрельногорской свиты с тонкой параллельной слоистостью, наклоненной по аз. 30° под углом 25°, нарушены зеркалами скольжения. Помимо этих зеркал на поверхностях отдельности с четкой штриховкой, параллельной падению пород, но без определенной ориентировки редких извилистых уступов, обнаружена поверхность трещины. Последняя наклонена по аз. 270° под углом 70° с хорошо выраженными зеркалами скольжения, штриховка на которых имеет наклон 20° по аз. 10–350° в зависимости от азимута падения поверхности смещения. Независимо от ориентации слабовыраженных уступов зеркал перемещение блоков по описанной поверхности скольжения происходило в субмеридиональном направлении.

Изучение зеркал скольжения, найденных Т. А. Дивиной при описании литологических особенностей пород венлока на правом берегу р. Нындэка, впадающей севернее в систему Сухаринских озер, в районе первого снизу порога показало наличие системы пологоволнистых трещин, выполненных кальцитом, толщиной 0,5–1 см и более. При аккуратном разделении стенок трещин, выполненных кальцитом, обнаружено отчетливо выраженное зеркало скольжения. Падение поверхности сместителя – по аз. 340° под углом 20°, штриховка на поверхностях висячего и лежачего блоков ориентирована по аз. 240°. Крутая часть уступа на нижней поверхности обращена по аз. 240°, а на верхней поверхности – по аз. 60°. Следовательно, надвигание висячего блока проходило по аз. 240°, что хорошо увязывается с дислокациями пород усть-кутского яруса выше на правом берегу этой реки, которые, скорее всего, формировались при перемещении пород в западном направлении.

Наличие признаков надвигания пород венлока (S_1) по аз. 240° позволяет объяснить наличие севернее гряды с выходами подстилающих пород лландовери (S_1), наклоненных (по данным геолсъемки м-ба 1:200 000) по аз. 270°. Кроме того, обнаруженные прямые признаки существования в близкоповерхностных условиях надвиговых структур косвенно подтверждают существование надвиговой антиклинали (типа Вуктыла в Предуральском прогибе) в рифейских породах, залегающих на глубине (см. рисунок).

Значительный интерес для понимания направления движения надвигов пластин вблизи Вороновского разлома имеют наблюдения по правому бере-



Локализация разломов на профиле «Нижняя Тунгуска» и на увеличенном до м-ба 1:500 000 фрагменте «Карты полезных ископаемых Красноярского края, Республик Хакасия и Тыва» со стандартным набором условных обозначений

гу р. Сухая Тунгуска в 0,5–1,5 км ниже устья руч. Бечевник. Здесь в обнажении высотой до 30–40 м фиксируется наклон пород сначала костинской свиты, а ниже по течению – платоновской на запад под углом 60–65° (перевернутое залегание). Затем ниже по течению после закрытого осыпью интервала протяженностью от 1 до 10–20 м отмечены коренные выходы кварцитовидных среднеплитчатых песчаников с прослоями аргиллитов стрельногорской (погорюйской, безымянной) свиты рифея. Наклон пород на запад под углом 40–65°. На задернованный интервал, вероятно, приходится поверхность сместителя Вороновского разлома, по которому самая древняя в районе свита рифея контактирует со средней частью платоновской свиты нижнего кембрия, находящейся в перевернутом (опрокинутом) залегании. Следовательно, самый крупный и близкий к Тунгусской синеклизе Вороновский разлом имеет надвиговую природу и обусловливает перемещение надвинутого крыла с запада на восток. Следовательно, в Туруханском районе на западной окраине Тунгусской синеклизы наблюдается значительное количество признаков перемещения надвиговых пластин, как и в Западной Сибири, с запада на восток, что позволяет считать вполне вероятной миграцию углеводородов из Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на восток. Это подтверждает правильность выводов ранее опубликованной статьи [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дискордантные** структуры Туруханского горста – проявление планетарного тектогенеза / В. С. Старосельцев, Т. А. Дивина, М. И. Муратов, К. В. Старосельцев // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 4 (12). – С. 24–30.

2. **Старосельцев В. С.** Западно-Сибирский бассейн – возможный источник битумов Туруханского горста // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 3 (27). – С. 24–30.

REFERENCES

1. Staroseltsev V.S. et al. [Discordant structures of the Turukhan uplift displaying the global tectogenesis]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2012, no. 4 (12), pp.24–30. (In Russ.).

2. Staroseltsev V.S. [The West Siberian basin as possible source of bitumen of the Turukhan horst]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia,* 2016, no. 3 (27), pp. 24–30. (In Russ.).

© В. С. Старосельцев, 2018

УДК (553.3/.4.078:553.2)+550.4(571.15)

ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ТУРМАЛИНОВЫХ ЛЕЙКОГРАНИТОВ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев, Е. М. Табакаева

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

Приведены данные по петрогеохимии, петрологии и рудоносности турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая, объединенных в две группы: 1) с ассоциацией минералов мусковит-биотит-турмалин-кварц-полевых шпатов (редко гранатов), 2) с ассоциацией турмалин-мусковит-кварц-полевых шпатов (иногда гранатов). Они отнесены к пералюминиевому и железистому типам пород. По возрасту они объединены также в две группы: 1) раннеюрские и позднепермско-среднетриасовые, 2) раннедевонские и раннетриасовые. Приведены обоснования их образования за счет плавления пералюминиевых лейкогранитов, метаграувакк и фельзических пелитов и за счет фракционирования базальтоидных и андезитоидных источников. В турмалиновых лейкогранитах проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (W и M). Показано, что проявление обоих типов и увеличение концентраций вольфрама связано с повышением кислотности среды. С массивами, в составе которых имеются турмалиновые лейкограниты, пространственно и парагенетически связаны различные типы оруденения W, Mo, Sc, U, Be.

Ключевые слова: *турмалиновые лейкограниты, возрастные группы, источники плавления, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ M- и W-типов, кислотность среды, Mo, Sc, U, Be.*

PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF TURMALINE LEUCOGRANITES OF GORNY ALTAI

A. I. Gusev, E. M. Tabakaeva

Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Russia

Data on petro-geochemistry, petrology and ore-bearing properties of tourmaline leucogranites of the Gorny Altai are presented. They are divided in 2 groups: 1 – leucogranites with association of minerals muscovite-biotite-tourmaline-quartz-feldspars (rarely garnets), and 2 – leucogranites with the association tourmaline-muscovite-quartz-feldspar, sometimes garnet. Tourmaline leucogranites of the region are referred to the peraluminous and ferruginous types of rocks. By age, they are also divided in 2 groups: 1 – Early Jurassic and Late Permian-Middle Triassic, and 2 – Early Devonian and Early Triassic. Reasons for their formation are given as follows due to the melting of peraluminous leucogranites, metagrauwacks and felsic pelites, and 2 due to the fractionation of basaltoid and andesitoid sources. In tourmaline leucogranites, two types of tetradic fractionation effect (TFE) of REEs are apparent: W and M. It is shown that the manifestation of both types of TFE of REEs and an increase in tungsten concentrations are associated with an increase in the medium acidity. Different types of W, Mo, Sc, U, Be mineralization are spatially and paragenetically related to massifs that have tourmaline leucogranites in their composition.

Keywords: *tourmaline leucogranites, age groups, melting sources, tetradic fractionation effect of REEs of M- and W-types, medium acidity, Mo, Sc, U, Be.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-39-48

Впервые повышенные концентрации турмалина в гранитоидах Алтая отмечены коллективом геологов СНИИГГиМС в массивах Джулалю (до 4000 г/т), Чиндагатуйском (до 1000 г/т), Ак-Алахинском (до 100 г/т), Калгутинском (до 500 г/т) [8]. Позднее турмалин зафиксирован в гранитоидах Барбургазинского, Синюшинского массивов [5] и Кумирского штока [4]. Актуальность исследования турмалиновых гранитоидов региона определяется тем, что с массивами, в составе которых имеются в своем составе такие разности пород, пространственно и парагенетически связаны различные типы оруденения W, Mo, Sc, U, Be. Цель исследования – осветить новые данные по петрогеохимическим особенностям турмалиновых гранитоидов Алтая, установить их генезис и особенности рудоносности.

Петрографические и геохимические аспекты турмалиновых гранитоидов Горного Алтая

Изучение турмалина в гранитоидах различных массивов показало, что он приурочен к лейкогранитам заключительных фаз внедрения и образует тонкую вкрапленность (0,2–0,5 мм), редко гломеропорфировые скопления выделений (до 1 мм). В некоторых массивах помимо вкрапленности отмечаются нодули турмалина размерами 0,5–1,5 см в поперечнике. Чаще всего турмалин в массе лейкогранитов образует гипидиоморфные выделения призматической формы и корродирует плагиоклаз, биотит и калиевый полевой шпат. С мусковитом он имеет взаимокоррозионные отношения. Все турмалинсодержащие породы могут быть объединены в две группы: 1) турмалинсодержащие двуслюдяные лейкограниты с ассоциацией минералов –

№ 2(34) ♦ 2018

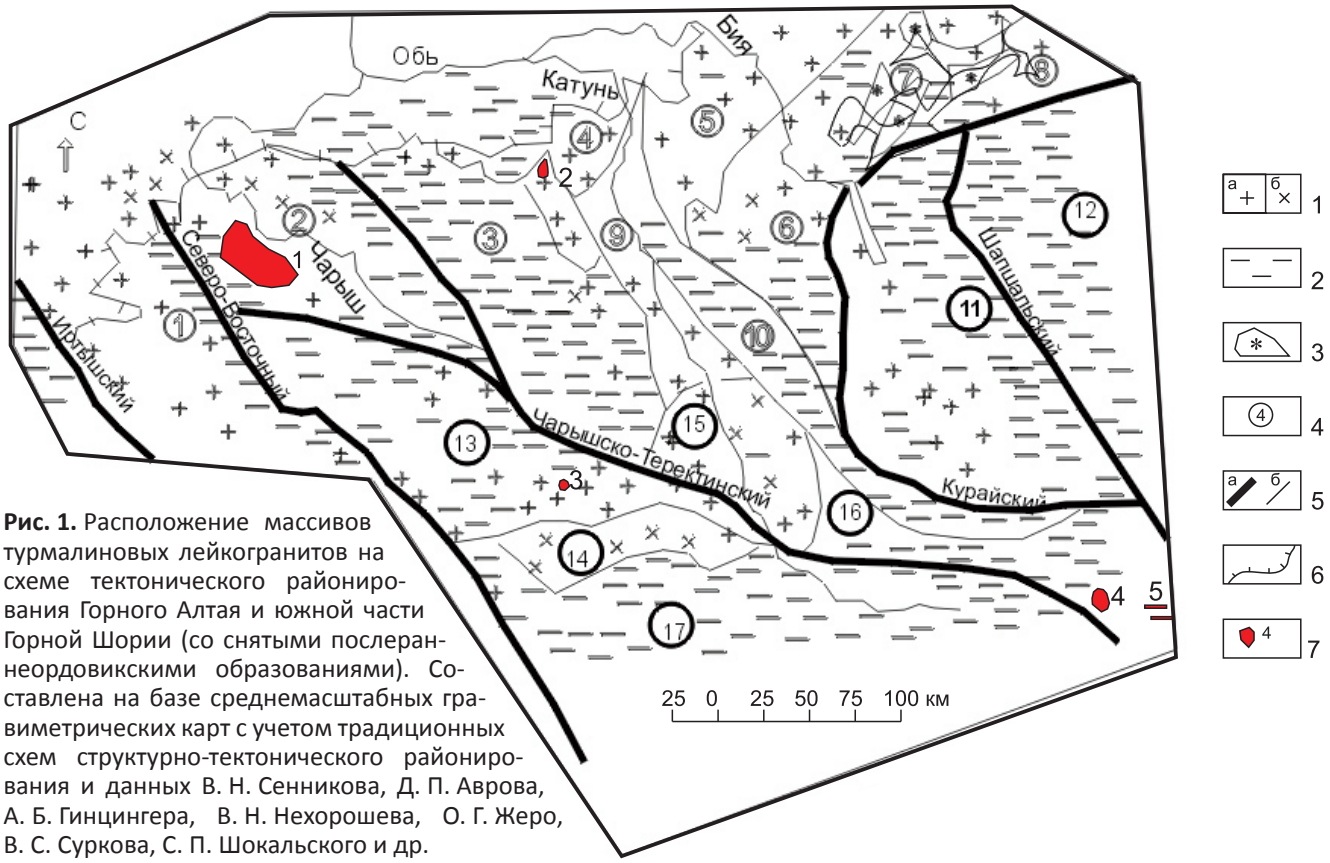


Рис. 1. Расположение массивов турмалиновых лейкогранитов на схеме тектонического районирования Горного Алтая и южной части Горной Шории (со снятыми послераннеордовикскими образованиями). Составлена на базе среднемасштабных гравиметрических карт с учетом традиционных схем структурно-тектонического районирования и данных В. Н. Сенникова, Д. П. Аврова, А. Б. Гинцингера, В. Н. Нехорошева, О. Г. Жеро, В. С. Суркова, С. П. Шокальского и др.

1 – площади с положительным полем силы тяжести: а – с выходом плотных пород R_3–$Є_2$ на поверхность, б – перекрытые низкоплотностными породами Є–D; 2 – площади с отрицательным полем силы тяжести; 3 – ранне-позднекембрийские гранитоиды; 4 – тектонические блоки (1 – Рудно-Алтайский, 2 – Чарышский, 3 – Ануйский, 4 – Каимский, 5 – Бийский, 6 – Уйменско-Лебедской, 7 – Мрасский, 8 – Верхнелебедской, 9 – Катунский, 10 – Кадрино-Баратальский, 11 – Телецко-Чулышманский, 12 – Западно-Саянский, 13 – Коргоно-Терехтинский, 14 – Южно-Терехтинский, 15 – Онгудайский, 16 – Чуйский; 17 – Холзуно-Чуйский); 5 – межблоковые разломы: а – трансрегиональные, б – региональные; 6 – граница горного сооружения и Бийско-Барнаульской впадины; 7 – выходы турмалиновых лейкогранитов и номера массивов (1 – Синюшинский, 2 – Точильный, 3 – Кумирский, 4 – Ак-Алахинский, 5 – дайки эльванов Южно-Калгутинского месторождения)

мусковит-биотит-турмалин-кварц-полевые шпаты, редко гранат (интрузивы Джулалю, Чиндагатуй, Калгутинский, Точильный шток, дайки эльванов Южно-Калгутинского месторождения); 2) мусковит-турмалиновые лейкограниты с ассоциацией минералов – турмалин-мусковит-кварц-полевые шпаты, иногда гранат (Ак-Алахинский, апофиза Синюшинского массива, Кумирский шток) (рис. 1).

Возраст интрузий первой группы раннеюрский и позднепермский – среднетриасовый, а второй – раннедевонский и раннетриасовый. Раннедевонский возраст Кумирского штока принят по [4]. Во всех случаях турмалин вкрапленников имеет магматическую природу. Ранее нами установлено, что все составы турмалинов изученных массивов на классификационных диаграммах попадают в поле шерлового турмалина и оксишерлового фоитита. Следует отметить, что турмалины первой группы раннеюрского возраста (массивов Калгутинского, Джулалю и даек эльванов) по составу приближаются к границе дравитового ряда. Эта группа турмалинов отличается от других самыми низкими концентрациями суммы РЗЭ, Nb, Y, Zr, Hf, Ga и повышенными содержаниями Mg, F, W, Ge, Ag, V [3].

Представительные анализы турмалиновых лейкогранитов приведены в таблице.

По химизму турмалиновые гранитоиды относятся к подотряду нормально- и низкощелочных и умеренно-щелочных лейкогранитов с суммой щелочей менее 8 % или более 8 % по [7].

Турмалиновые лейкограниты региона характеризуются пониженными концентрациями титана, стронция, бария, циркония и повышенными – железа, суммы щелочей, галлия, ниобия, что свойственно анорогенным образованиям. В них отмечаются варьирующие содержания вольфрама, цезия, рубидия. Сумма РЗЭ колеблется от 37,44 до 278,4 г/т. Отношения U/Th в породах менее 1, что свидетельствует об отсутствии наложенных на них процессов. Значительные колебания нормированных к хондриту отношений La/Yb_N и La/Sm_N указывают на разную степень фракционирования моделей распределения РЗЭ. В породах проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ: M (пороговое значение выше 1,1) и W (пороговое значение менее 0,9) (см. таблицу).

Соотношение $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ – $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ позволяет относить все турмали-

Представительные анализы турмалиновых лейкогранитов (оксиды – мас. %, элементы – г/т)

Компонент	Порода									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	75,01	75,26	75,49	75,6	76,0	74,5	74,7	74,2	74,7	75,1
TiO_2	0,02	0,02	0,14	0,11	0,02	0,23	0,21	0,20	0,07	0,06
Al_2O_3	14,41	14,37	12,7	12,8	13,7	14,1	14,0	14,2	14,5	14,4
Fe_2O_3	0,49	0,46	1,01	0,93	0,13	0,6	0,55	0,65	0,37	0,34
FeO	0,45	0,41	0,97	0,9	0,11	2,1	1,95	2,0	0,33	0,28
MnO	0,04	0,03	0,06	0,05	0,02	0,05	0,04	0,05	0,07	0,08
MgO	0,11	0,10	0,26	0,22	0,1	0,45	0,3	0,43	0,14	0,15
CaO	0,07	0,08	0,72	0,6	0,31	1,1	1,0	1,15	0,42	0,5
Na_2O	4,47	4,51	3,89	4,1	4,46	3,0	2,9	3,1	3,95	4,1
K_2O	4,10	4,15	4,54	4,3	4,0	4,6	4,55	4,7	4,43	4,41
P_2O_5	0,06	0,06	0,11	0,1	0,1	0,4	0,45	0,46	0,22	0,21
П.п.п.	0,61	0,48	0,4	0,3	0,36	0,33	0,28	0,3	0,87	0,8
∑	99,76	99,98	99,97	99,98	99,5	99,95	99,94	99,97	100,1	99,96
V	4,5	4,3	5,1	4,8	3,5	14	12	11	4,6	5,2
Cr	16	15	21,1	22,3	11,8	8	6	7	12,5	13,1
Ba	78	123	37,2	38,1	7,8	97	95	94	45,7	46,3
Ni	2,1	2,0	2,2	2,1	1,9	4	3,3	4,2	3,4	3,5
Co	1,0	0,9	3,1	2,8	1,2	2	1,8	2	2,3	2,4
Cu	2,5	2,3	18,3	17,5	12,7	5,7	4,8	5,8	18,9	17,5
Zn	63	50	45,9	46,3	23,7	28,9	30,2	27,4	34,7	35,8
Pb	10,2	9,8	12,1	13,1	9,5	10,7	12,3	9,6	12,8	13,9
Sn	11,5	12,1	5,1	6,2	9,8	11,8	10,9	12,3	10,8	12,8
Sc	7,13	7,5	10,2	9,8	8,7	3	2	3,2	7,7	8,1
Sr	11,1	45	20,1	21,5	15,3	280	277	283	24,3	25,2
Zr	30,4	30,1	130,1	123	50,1	150	145	160	36,4	40,6
Nb	30,9	29,8	35,2	36,7	45,6	15	16,5	15,6	57,9	56,9
Y	29,9	30,0	25,1	25,5	30,1	20	19,4	22	8,8	9,0
U	5,18	3,7	15,2	13,7	8,6	0,82	0,8	0,83	4,1	4,4
Th	9,96	13,8	43,2	39,6	14,3	1,97	1,95	1,98	4,5	5,2
Li	71,6	72,3	69,4	72,3	45,5	104	101	102	124	132
W	4,98	5,0	4,3	4,5	6,7	37,5	38,9	36,5	120	119
Mo	0,51	0,65	0,3	0,4	5,3	4,1	4,7	5,2	1,6	3,2
Rb	398	401	26,1	27,7	235	280	275	285	570	583
Cs	21,3	34	13,4	14,5	10,5	21	20	21,8	118	121
Ga	26,7	27,2	28,5	30,5	29,5	31	29,6	30	45,8	46,4
La	12,0	11,6	50,0	49,6	10,9	30	29	31	4,85	5,1
Ce	20,9	28,8	67,1	70,3	26,3	30,4	30,7	30,5	11,1	13,6
Pr	5,5	6,7	12,0	11,6	3,4	2,5	2,6	2,6	1,23	1,4
Nd	14,1	13,9	21,3	20,5	12,9	8,6	8,7	8,8	4,77	5,6
Sm	6,7	6,2	20,7	18,9	4,5	2,75	2,8	2,8	1,17	1,2
Eu	0,27	0,02	10,56	9,6	0,06	0,56	0,58	0,6	0,18	0,15
Gd	8,1	5,6	11,1	12,2	4,2	4,35	4,4	4,4	1,19	1,3
Tb	2,0	2,3	10,55	10,3	0,75	0,82	0,81	0,84	0,25	0,26
Dy	5,1	2,8	22,6	21,5	4,78	4,6	4,8	4,7	1,33	1,5
Ho	2,0	0,5	6,8	5,8	1,1	1,02	1,0	1,1	0,27	0,3
Er	3,2	1,7	12,1	11,3	3,24	2,95	3,0	2,91	0,85	0,91
Tm	0,8	0,4	2,1	2,2	0,58	0,46	0,47	0,44	0,15	0,18
Yb	1,10	2,6	5,0	5,2	3,86	2,2	2,0	2,3	1,1	1,3
Lu	0,13	0,09	1,43	1,3	0,66	0,21	0,2	0,21	0,2	0,3
Hf	3,3	2,7	4,7	4,6	4,1	0,78	0,8	0,79	3,1	2,9
Ta	4,5	5,3	3,8	3,9	9,3	1,55	1,6	1,53	12,4	11,8
In	0,8	0,9	1,1	1,2	1,6	2,5	2,2	2,6	2,8	3,1
Bi	0,8	0,77	0,9	1,0	1,2	1,9	2,1	2,3	2,2	2,7

Окончание таблицы

Компонент	Порода									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
∑REE	112,4	113,2	278,4	275,8	107,3	111,4	108,3	115,2	37,44	42,1
La/Yb_N	7,48	2,94	6,6	6,3	1,86	9,0	9,6	8,9	2,9	2,6
La/Sm_N	1,09	1,14	1,48	1,6	1,48	6,7	6,3	6,7	2,5	2,6
Eu/Eu*	0,11	0,01	1,94	1,83	0,042	0,5	0,51	0,53	0,47	0,38
U/Th	0,52	0,27	0,35	0,34	0,6	0,42	0,41	0,42	0,91	0,85
$TE_{1,3}$	1,02	1,61	1,59	1,6	1,05	0,88	0,91	0,87	1,04	1,12

Примечания. 1. Анализы выполнены: силикатный на главные компоненты химическим методом в лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра (Новокузнецк); на микроэлементы – в лаборатории ИМГРЭ методами ICP-MS и ICP-AES.
2. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [9]; $Eu^* = (Sm_N + Gd_N/2)$; $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [17].
3. Породы: 1–2 – турмалиновые лейкограниты Кумирского штока; 3–4 – лейкограниты с турмалином Синюшинской апофизы; 5 – лейкогранит Точильного штока; 6–8 – Ак-Алахинский шток; 9–10 – эльваны Южно-Калгутинского месторождения.

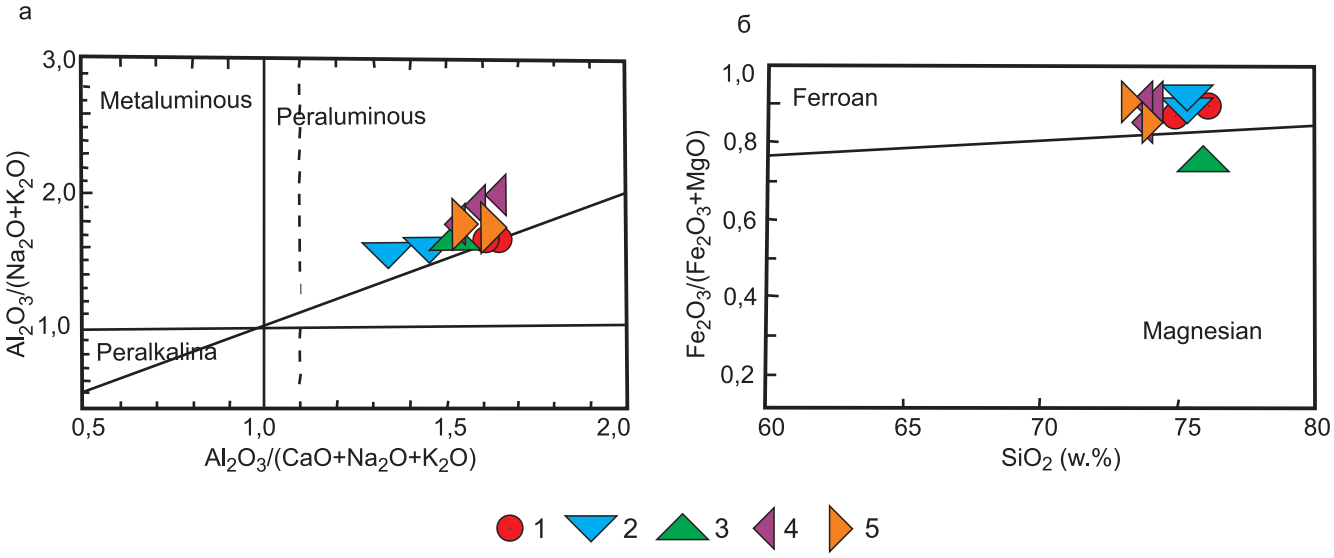


Рис. 2. Диаграммы соотношений: а – $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ – $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ по [19]; б – $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ – SiO_2 по [26] для турмалиновых гранитоидов Горного Алтая

Турмалиновые лейкограниты и турмалиновые эльваны Горного Алтая: 1 – Кумирского штока, 2 – Колыванской апофизы Синюшинского массива, 3 – Точильного штока, 4 – Ак-Алахинского штока, 5 – эльваны Южно-Калгутинского месторождения

новые лейкограниты региона к пералюминиевому типу, а соотношение $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$ – SiO_2 указывает на принадлежность преобладающей части пород к железистому типу, за исключением турмалиновых лейкогранитов Точильного штока (рис. 2), попадающего в поле магнезиальных пород за счет биотитовых скоплений в миароловых полостях.

Обсуждение результатов

Появление двуслюдяных и турмалиновых лейкогранитов может быть связано с различными причинами: 1) образованием мусковит-турмалиновых лейкогранитов в результате фракционирования двуслюдяных лейкогранитов [22, 23]; 2) образованием двух типов лейкогранитов в результате плавления различных фракций из одного и того же источника [16]; 3) бимодальностью, отражающей различные протолиты, за счет которых плавились двуслюдяные лейкограниты и мусковит-турмалиновые лейкограниты [15, 23, 27]. Кроме того, существует мнение о том, что пералюминиевые составы турмалинсодержащих лейкогранитов характеризуются соотношением изотопов стронция (Sr_i > 0,710) [18, 21] и соотношением изотопов кислорода ($\delta^{18}O$ > +10 ‰), которые подтверждают, что они были генерированы путем частичного плавления метаосадочных пород. Последнее положение согласуется и с нашими данными по некоторым массивам Горного Алтая. Текстурные характеристики и химические вариации показывают, что турмалин во всех случаях кристаллизовался в течение относительно ранней магматической стадии в субсолидусных условиях. Согласно [13] ассоциация биотит±кордиерит и турмалин с мафическими фосфатными минералами (апатитом) могут кристаллизоваться в суперсолидусных условиях.

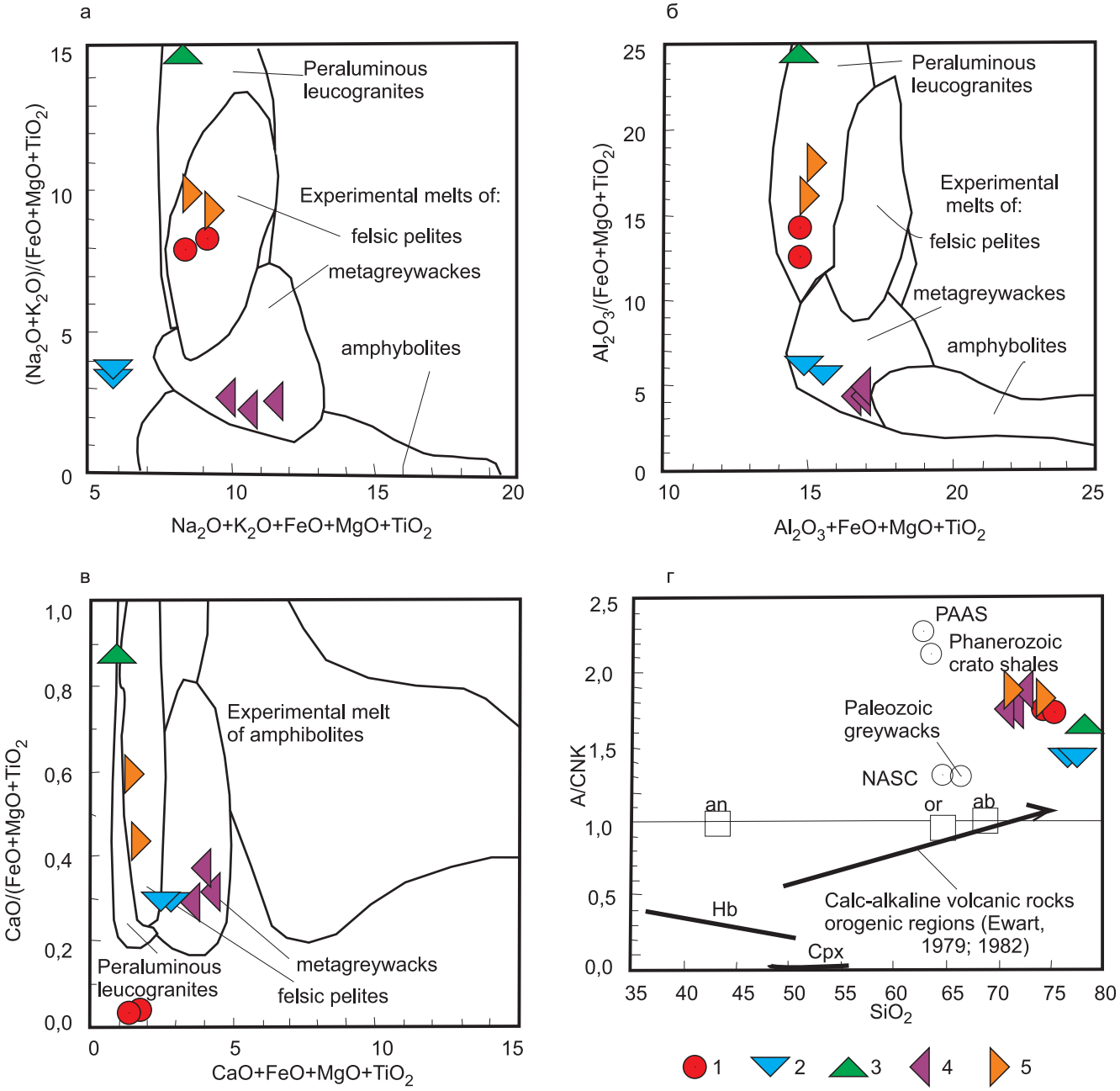


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы: а, б, в – композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусковитовых сланцев), метаграувакк и амфиболитов [29] для турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая; г – SiO_2 – A/CNK для турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов по [11, 12]; A – Al_2O_3, CNK – сумма CaO, Na_2O, K_2O. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2

В Корнубианском батолите фракционирование элементов в связи с образованием турмалиновых лейкогранитов за счет плавления метаосадочных пород, содержавших турмалин, приводило к обогащению гранитной бор-обогащенной системы такими элементами, как Li, Ga, In, Sn, Nb, Ta, W, Bi [14]. Данные по турмалиновым лейкогранитам Горного Алтая свидетельствуют о том, что наблюдается насыщение бор-обогащенных гранитных систем региона некоторыми элементами (Li, Ga, Nb), а некоторые элементы показывают неоднозначную картину: с обогащением и обеднением (In, Sn, Ta, W, Bi). Такое распределение элементов в турмалиновых лейкогранитах Горного Алтая связано с геологическими особенностями и петрогенезисом анализируемых гранитоидов региона.

На экспериментальных диаграммах составы турмалиновых лейкогранитов региона тяготеют к полям плавления пералюминиевых лейкогранитов, метаграувакк и фельзических пелитов (рис. 3). По соотношениям A/CNK – SiO_2 составы пород тяготеют к среднему составу фанерозойских кратонных сланцев (см. рис. 3, г).

По соотношениям Th – La и Th – U турмалиновые лейкограниты локализуются в разных частях диаграмм. Указанные породы Кумирского, Точильного штоков и Синюшинской апофизы тяготеют к полю среднепротерозойской коры, эльваны Юж-

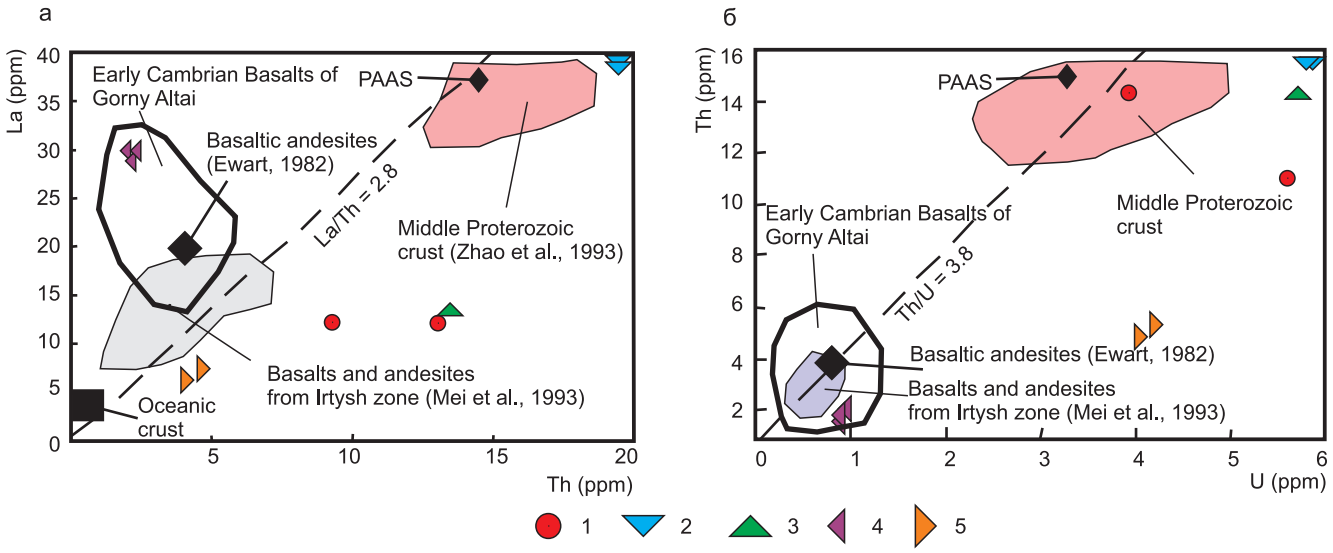


Рис. 4. Диаграммы La – Th (а) и Th – U (б) по [10] для турмалиновых гранитоидов Горного Алтая. Розовое поле – осадочные породы среднепалеозойской коры по [24]; серое поле – базальты и андезиты Иртышской зоны смятия по [25]; PAAS (post-Archaean average Australian shale) – постархейские австралийские сланцы, представленные весьма зрелыми осадочными породами по [20]. Поле Early Cambrian Basalts Gorny Altai (раннекембрийские базальты Горного Алтая) выделено по авторским данным (более 450 анализов)

Усл. обозн. см. на рис. 2

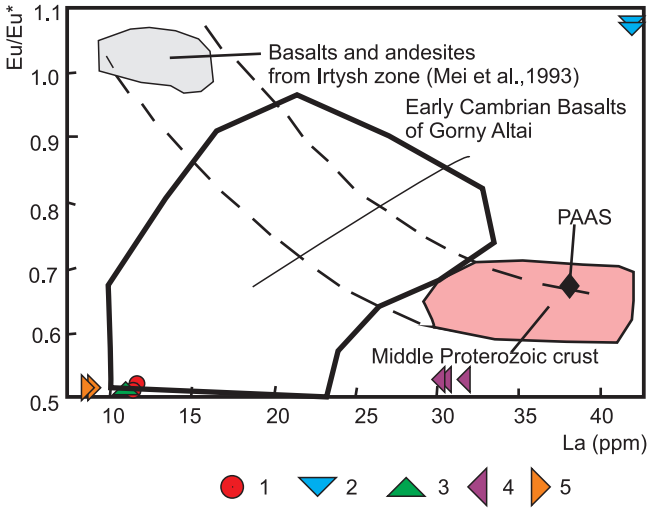


Рис. 5. Диаграмма Eu/Eu* – La по [10, с добавлениями авторов] для турмалиновых гранитоидов Горного Алтая

Усл. обозн. см. на рис. 2

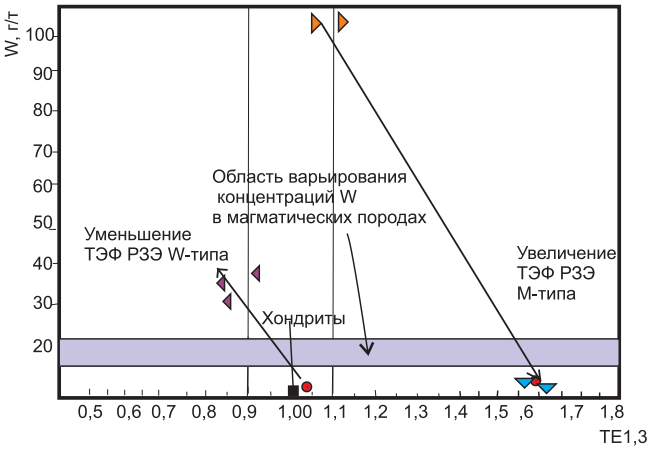


Рис. 6. Диаграмма W – $TE_{1,3}$ по [2] для турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая. Серая область на диаграмме выделена на основании средних содержаний вольфрама в изверженных породах по [1]; содержания вольфрама в хондритах по [28]

Усл. обозн. см. на рис. 2

но-Калгутинского месторождения – к базальтам и андезитам Иртышской зоны смятия, а турмалиновые лейкограниты Ак-Алахинского штока – к полю раннекембрийских базальтоидов Горного Алтая (рис. 4).

На диаграмме соотношений Eu/Eu* – La группа турмалиновых лейкогранитов Кумирского, Точильного штоков и Синюшинской апофизы также тяготеют к полю составов среднепротерозойской коры (рис. 5), все остальные турмалиновые лейкограниты – к полю раннекембрийских базальтоидов Горного Алтая.

Следовательно, турмалиновые лейкограниты Горного Алтая формировались в результате плавления различных источников (фельзических пелитов, пералюминиевых лейкогранитов и метаграувакк) и тяготеют к составу среднепротерозойской коры, а также в результате смешения с базальтоидными источниками и последующей дифференциации и фракционирования, тяготеющих по составам к базальтоидам и андезитоидам Иртышской зоны смятия и базальтоидам раннего кембрия Горного Алтая.

Различный генезис турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая отразился и на особенностях проявления тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (ТЭФ РЗЭ) в них (W- и M-типов), обусловленных разнообразием составов флюидного режима и активностью главных летучих компонентов (F, B, H_2O).

На диаграмме W – $TE_{1,3}$ фигуративные точки анализируемых турмалиновых лейкогранитов образуют контрастные кластеры, позволяющие по

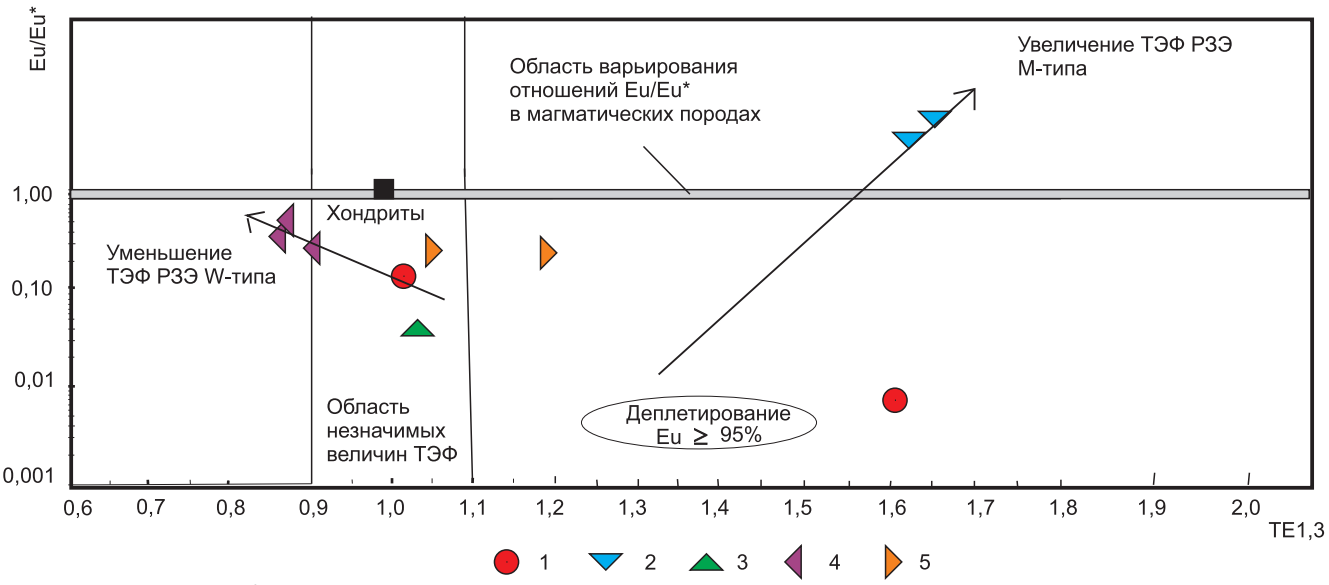


Рис. 7. Диаграмма Eu/Eu* – $TE_{1,3}$ для турмалиновых лейкогранитов Горного Алтая (составлена авторами)
Усл. обозн. см. на рис. 2

трендам наметить зависимости концентраций вольфрама и проявления ТЭФ РЗЭ М- и W-типов (рис. 6). В лейкогранитах с проявлением ТЭФ РЗЭ W-типа содержания вольфрама увеличиваются с возрастанием значений ТЭФ РЗЭ (в Ак-Алахинском штоке), обнаруживаются признаки присутствия ингредиентов раннекембрийских базальтоидов Горного Алтая. Противоположная тенденция наблюдается для турмалиновых лейкогранитов с проявлением М-типа ТЭФ РЗЭ. Здесь уменьшение концентраций вольфрама происходит с увеличением значений ТЭФ РЗЭ М-типа (в Колыванской апофизе и Кумирском штоке), источник плавления которых тяготеет к составу среднепротерозойской коры.

На диаграмме соотношений фиксируется резкое увеличение соотношений Eu/Eu* с возрастанием значений $TE_{1,3}$ (рис. 7). Увеличение отношения Eu/Eu* при проявлении ТЭФ РЗЭ М-типа согласно рядам кислотности – щелочности элементов [6] спектра элементов Sm, Gd, Eu (участвующих в соотношении Eu/Eu*) в водно-сероводородных растворах при стандартных условиях отвечает повышению кислотности среды. Следовательно, снижение концентраций вольфрама в турмалиновых лейкогранитах с возрастанием значений ТЭФ РЗЭ М-типа обусловлено повышением кислотности среды. Это происходит в Колыванской апофизе и Кумирском штоке, которые образованы за счет плавления среднепротерозойской коры. Аналогичная картина наблюдается и для группы турмалиновых лейкогранитов Ак-Алахинского штока, несущего метки базальтоидного источника. Увеличение концентраций вольфрама в них обусловлено также повышением кислотности среды.

Выводы

1. Турмалиновые гранитоиды принадлежат к подотряду нормально- и низкощелочных и умеренно-щелочных лейкогранитов с суммой щелочей менее или более 8 %.

2. Все турмалиновые лейкограниты региона относятся к пералюминиевому типу, а по железомагнезиальному соотношению выявляется принадлежность преобладающей части пород к железистым варитетам, за исключением турмалиновых лейкогранитов Точильного штока, относящихся к магнезиальной разности.

3. В формировании турмалиновых лейкогранитов наблюдаются различные источники плавления. Одна группа показывает кислые седиментогенные и интрузивные источники (фельзические пелиты, пералюминиевые лейкограниты и метаграувакки, тяготеющие к составам среднепротерозойской коры), а во второй отмечаются признаки смешения с базальтоидными источниками, а также последующей дифференциации и фракционирования. Источники этой группы тяготеют по составам к базальтоидам и андезитоидам Иртышской зоны смятия и базальтоидам раннего кембрия Горного Алтая.

4. В указанных группах гранитоидов выявлены разные типы ТЭФ РЗЭ. В турмалиновых лейкогранитах Ак-Алахинского штока (с отчетливо проявленным ТЭФ РЗЭ W-типа), несущих метки базальтоидного источника, увеличение концентраций вольфрама обусловлено повышением кислотности среды. В турмалиновых лейкогранитах, образовавшихся за счет плавления пералюминиевых лейкогранитов и седиментогенных разностей пород, проявлен ТЭФ РЗЭ М-типа, уменьшение концентраций вольфрама в них связано с повышением кислотности среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виноградов А. П.** Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–572.

2. **Гусев А. И.** Геохимия и петрология Орочаганского массива гранитоидов юга Горного Алтая // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 3, ч. 2. – С. 277–281.

3. **Гусев А. И.** Турмалин в гранитоидах Горного Алтая // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4, ч. 2. – С. 409–413.

4. **Гусев А. И., Табакаева Е. М.** Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Коргон – Чарыш Горного Алтая. – Бийск: Изд-во АГАО, 2014. – 215 с.

5. **Гусев А. И., Табакаева Е. М.** Новые данные по магматизму и оруденению Колыванского месторождения (Горный Алтай) // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы. – 2013. – № 2. – С. 24–34.

6. **Маракушев А. А.** Термодинамические факторы образования рудной зональности // Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука, 1976. – С. 36–51.

7. **Петрографический** кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. третье, испр. и доп. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.

8. **Петрохимическая** характеристика, геохимия и радиология гранитоидов Горного Алтая: справочник / Н. Н. Амшинский, И. В. Мариич, В. Б. Дергачев и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1983. – 90 с.

9. **Anders E., Greevesse N.** Abundences of the elements: meteoric and solar // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.

10. **Chen B., Jahn B.-M.** Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai orogen of northwest China and their tectonic implications // Geol. Mag. – 2002. – Vol. 139, no. 1. – P. 1–13.

11. **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.

12. **Ewart A.** The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic – basaltic compositional range // Andesites: orogenic andesite and related rocks / ed. R. S. Thorpe. – Chichester: Wiley, 1982. – P. 25–95.

13. **Experimental** silicate-phosphate equilibria in peraluminous granitic magmas, with a case study of the Albuquerque batholith at Tres Arroyos, Badajoz, España / D. London, M. Wolf, G. B. Morgan VI, M. Gallego-Garrido // Journal of Petrology. – 1999. – Vol. 40. – P. 215–240.

14. **Fractionation** of Li, Be, Ga, NB, Ta, In, Sn, Sb, W and Bi in the peraluminous Early Permian Variscan granites of the Cornubian Batholith: Precursor processes to magmatic-hydrothermal mineralization / B. Simons, J. C. Ø. Andersen, R. K. Shail, F. E. Jenner // Lithos. – 2017. – Vol. 278–281. – P. 491–512.

15. **Guillot S., Le Fort P.** Geochemical constraints on the bimodal origin of High Himalayan leucogranites // Lithos. – 1995. – Vol. 35. – P. 221–234.

16. **Harris N., Inger S., Massey J.** The role of fluids in the formation of High Himalayan leucogranites / ed. P. J. Treloar, M. Searle // Himalayan Tectonics. Vol. 74. – London: Geological Society, Special Publications, 1993. – P. 391–400.

17. **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 Comochim. Acta. – 1999. – Vol. 63, no. 3/4. – P. 489–508.

18. **Linares E., Pellitero E., Saavedra J.** Primeras edades radiométricas en el área estanno-wolframífera de Morille – Martinamor (Centro-Oeste de España) // Boletín Geológico y Minero. – 1987. – Vol. XCVIII. – P. 640–646.

19. **Maniar P. D., Piccoli P. M.** Tectonic discrimination of granitoids // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1989. – Vol. 101. – P. 635–643.

20. **Nance W. B., Taylor S. R.** Rare earth element patterns and crustal evolution – I. Australian post-Archean sedimentary rocks // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1976. – Vol. 40. – P. 1539.

21. **Ramírez J. A.** Estudio petrológico, geoquímico e isotópico del batolito de Jálama: PhD thesis // Norte de Extremadura. – Universidad de Granada, 1996. – P. 201.

22. **Scaillet B., France-Lanord C., Le Fort P.** Badrinath – Gangroti plutons (Garhwal, India): petrological and geochemical evidence for fractionation processes in a high Himalayan leucogranite // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 1990. – Vol. 44. – P. 163–188.

23. **Scaillet B., Pichavant M., Roux J.** Experimental crystallization of leucogranite magmas // Journal of Petrology. – 1995. – Vol. 36. – P. 663–705.

24. **The REE**, isotopic composition of O, Pb, Sr and Nd and petrogenesis of granitoids in the Altai region / Z. H. Zhao, Z. G. Wang, T. R. Zou, A. Masuda // Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang, China / ed. G. Z. Tu). – Beijing: Science Press, 1993. – P. 239–266. – (In Chinese with English abstract).

25. **Trace** element geochemistry of late Palaeozoic volcanic rocks on the southern side of the Irtysh River and the evolutional history of tectonic setting / H. J. Mei, X. C. Yang, J. D. Wang, et al. // Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang, China / ed. G. Z. Tu. – Beijing: Science Press, 1993. – P. 199–216. – (In Chinese).

26. **Villaseca C., Barbero L., Herreros V.** A reexamination 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.

27. **Visona D., Lombardo B.** Two-mica and tourmaline leucogranites from the Everest-Makalu region

(Nepal – Tibet). Himalayan leucogranite genesis by isobaric heating // Lithos. – 2002. – Vol. 62. – P. 125–150.

28. **Wasson J. T., Kallemeyn G. W.** Composition of chondrites // Phil. Trans. R. Soc. Lond. – 1988. – Vol. 201. – P. 535–544.

29. **What** do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origins of granitic magmas? // Geol. Soc. London. Spec. Publ. – 1999. – Vol. 168. – P. 55–75.

REFERENCES

1. Vinogradov A.P. [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust]. *Geokhimia – Geochemistry*, 1962, no. 7, pp. 555–572. (In Russ.).

2. Gusev A.I. [Geochemistry and Petrology of the Orochagan Granitoid Massif in the south of Gorny Altai]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy – International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, no. 3, part 2, pp. 277–281. (In Russ.).

3. Gusev A.I. [Tourmaline in granitoids of Gorny Altai]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy – International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, no. 4, part 2, pp. 409–413. (In Russ.).

4. Gusev A.I., Tabakaeva E. M. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye mezhdurech'ya Korgon-Charysh Gornogo Altaya* [The geological structure and minerals of the interfluve of the Korgon–Charysh in Gorny Altai]. Biysk, AGAO Publ., 2014. 215 p. (In Russ.).

5. Gusev A.I., Tabakaeva E. M. [New data on magmatism and mineralization of the Kolyvan deposit (Gorny Altai)] *Prirodnye resursy Gornogo Altaya: geologiya, geofizika, ekologiya, mineral'nye, vodnye i lesnye resursy – Natural resources of Gorny Altai: geology, geophysics, ecology, mineral, water and forest resources*, 2013, no. 2, pp. 24–34. (In Russ.).

6. Marakushev A.A. [Thermodynamic factors in the formation of ore zoning]. *Prognozirovanie skrytogo orudeneniya na osnove zonal'nosti gidrotermal'nyh mestorozhdenij.* [Forecasting of hidden mineralization based on the zonation of hydrothermal deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1976, pp. 36–51. (In Russ.).

7. *Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2009. 200 p. (In Russ.).

8. Amshinskiy N.N., Mariich I.V., Dergachev V.B., et al. *Petrokhimicheskaya kharakteristika, geokhimiya i radiologiya granitoidov Gornogo Altay. Spravochnik* [Petrochemical characteristics, geochemistry and radiology of granitoids of the Gorny Altai. Handbook]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1983. 90 p. (In Russ.).

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

10. Chen B., Jahn B.-M. Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai orogen of northwest China and their tectonic implications. *Geol. Mag.*, 2002, vol. 139, no. 1, pp. 1–13.

11. 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.

12. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic – basaltic compositional range. *Andesites: orogenic andesite and related rocks,* ed. R. S. Thorpe. Chichester, Wiley, 1982, pp. 25–95.

13. London D., Wolf M., Morgan G.B., Gallego-Garrido M. Experimental silicate-phosphate equilibria in peraluminous granitic magmas, with a case study of the Albuquerque batholith at Tres Arroyos, Badajoz, España. *Journal of Petrology*, 1999, vol. 40, pp. 215–240.

14. Simons B., Andersen J.C.Ø., Shail R.K., Jenner F.E. Fractionation of Li, Be, Ga, NB, Ta, In, Sn, Sb, W and Bi in the peraluminous Early Permian Variscan granites of the Cornubian Batholith: Precursor processes to magmatic-hydrothermal mineralization. *Lithos*, 2017, vol. 278–281. pp. 491–512.

15. Guillot S., Le Fort P. Geochemical constraints on the bimodal origin of High Himalayan leucogranites. *Lithos*, 1995, vol. 35, pp. 221–234.

16. Harris N., Inger S., Massey J. The role of fluids in the formation of High Himalayan leucogranites / ed. P. J. Treloar, M. Searle. *Himalayan Tectonics.* Vol. 74. London: Geological Society, Special Publications, 1993, pp. 391–400.

17. 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 Comochim. Acta,* 1999, vol. 63, no. 3/4, pp. 489–508.

18. Linares E., Pellitero E., Saavedra J. Primeras edades radiométricas en el área estanno-wolframífera de Morille – Martinamor (Centro-Oeste de España). *Boletín Geológico y Minero*, 1987, vol. XCVIII, pp. 640–646.

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

20. Nance W.B., Taylor S.R. Rare earth element patterns and crustal evolution – I. Australian post-Archean sedimentary rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta,* 1976, vol. 40, p. 1539.

21. Ramírez J. A. Estudio petrológico, geoquímico e isotópico del batolito de Jálama: PhD thesis. *Norte de Extremadura*. Universidad de Granada, 1996. P. 201.

22. Scaillet B., France-Lanord C., Le Fort P. Badrinath – Gangroti plutons (Garhwal, India): petrological and geochemical evidence for fractionation proceses in a high Himalayan leucogranite. *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* 1990, vol. 44, pp. 163–188.

23. Scaillet B., Pichavant M., Roux J. Experimental crystallization of leucogranite magmas. *Journal of Petrology,* 1995, vol. 36. pp. 663–705.

24. Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. The REE, isotopic composition of O, Pb, Sr and Nd and petrogenesis of granitoids in the Altai region. *Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang, China*. Ed. G.Z.Tu). Beijing, Science Press, 1993, pp. 239–266. (In Chinese with English abstract).

25. Mei H.J., Yang X.C., Wang J.D., et al. Trace element geochemistry of late Palaeozoic volcanic rocks on the southern side of the Irtysh River and the evolutional history of tectonic setting. *Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang, China*. Ed. G.Z.Tu. Beijing, Science Press, 1993, pp. 199–216. (In Chinese)

26. 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.

27. Visona D., Lombardo B. Two-mica and tourmaline leucogranites from the Everest-Makalu region (Nepal – Tibet). Himalayan leucogranite genesis by isobaric heating. *Lithos*, 2002, vol. 62, pp. 125–150.

28. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Composition of chondrites. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1988. vol. 201, pp. 535–544.

29. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origins of granitic magmas? *Geol. Soc. London. Spec. Publ*., 1999, vol. 168, pp. 55–75.

© А. И. Гусев, Е. М. Табакаева, 2018

УДК (552.11:553.52):571.73(571.1-13)

О критериях расчленения нижнепалеозойской габбро-монцодиоритовой формации Кузнецкого Алатау на когтахский и кашпарский интрузивные комплексы

А. Д. Котельников, Н. А. Макаренко

Томский национальный исследовательский государственный университет, Томск, Россия,

Получены новые данные о магматических образованиях габбро-монцодиоритовой формации восточного склона Кузнецкого Алатау. Установлено, что в ее состав ранее включались две разновозрастные группы пород близкого петрографического облика, аттестованные в литературе в качестве единого когтахского габбро-монцодиорит-сиенитового интрузивного комплекса. Монцодиориты в петротипическом массиве (согласно авторским уран-свинцовым датировкам) имеют возраст 500,8±4,6 млн лет. Иные U-Pb даты установлены для габброидов (487,4±3,8 млн лет) и кварцевых монцодиоритов (483,1±4,8 млн лет) Кашпарского массива, что с учетом изотопного возраста родственных сиенитоидов дает основание выделить новый для региона более молодой (472–487 млн лет) позднекембрийско-раннеордовикский кашпарский габбро-диорит-кварц-монцодиорит-сиенитовый интрузивный комплекс, который предшествует становлению тигертышских гранитоидов. Приводятся аргументированные геолого-петрографические, минералогические и петрохимические признаки различия внешне однотипных образований кашпарского и когтахского комплексов. Показано, что по распределению редких элементов породы комплексов проявляют промежуточные характеристики между внутриплитными базальтами типа OIB и окраинно-континентальными типа IAB, но при этом имеют и ряд геохимических отличий.

Ключевые слова: *Кузнецкий Алатау, кашпарский и когтахский комплексы, петротипические массивы, признаки отличия комплексов, уран-свинцовое датирование, мультиэлементные спектры, геодинамическая обстановка.*

On criteria for differentiation of the lower-Paleozoic gabbro-monzodiorite formation in the Kogtakh and Kashpar intrusive complexes of the Kuznetsk Alatau

A. D. Kotelnikov, N. A. Makarenko

Tomsk National Research State University, Tomsk, Russia

New data on magmatic formations of the gabbro-monzodiorite formation of the eastern slope of the Kuznetsk Alatau have been obtained. It is established that two different age groups of rocks of a similar petrographic appearance were previously included. They were certified in the literature as a single Kogtakh gabbro-monzodiorite-syenite intrusive complex, whose monzodiorites in the petrotype massif, according to the author's uranium-lead dating, are 500.8 ± 4.6 million years old. Other U-Pb dates have been established for gabbroids (487.4±3.8 Ma) and quartz monzodiorites (483.1±4.8 Ma) for the Kashpar massif, which, taking into account the isotope age of the related syenitoids, makes it possible to single out a new (for the region) younger (472–487 Ma) Late Cambrian – Early Ordovician Kashpar gabbro-diorite-quartzmonzodiorite-syenite intrusion complex preceding the formation of Tigertysh granitoids. Argumented geological-petrographic, mineralogical and petrochemical distinctive features of superficially similar formations of the Kashpar and Kogtakh complexes are presented. It is shown that by the distribution of rare elements, the rocks of the complexes show intermediate characteristics between OIB-type intraplate and IAB-type marginal continental basalts, but therewith have a number of geochemical differences.

Keywords: *Kuznetsk Alatau, Kashpar and Kogtakh complexes, petrotypical massifs, distinctive features of complexes, uranium-lead dating, multielement spectra, geodynamic environment.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-49-60

Крупные плутоны восточного склона Кузнецкого Алатау – Улень-Туимский, Тигертышский, Уйбатский, Аскизский и Саксырский, описанные в литературе как батолиты пестрого состава, при детальном изучении оказываются гетерогенными, полихронными и полиформационными образованиями, представленными не только гранитоидами. Они включают последовательный ряд формаций, одной из которых является раннепалеозойская габбро-монцодиоритовая [2, 8]. Она широко распространена на восточном склоне Кузнецкого Алатау, и до последнего времени в ее составе выделялся лишь один среднекембрийский когтахский интрузивный комплекс [1–3], хотя попытки ее разделения на разные комплексы уже предпринимались [6].

Возраст когтахского комплекса, подтвержденный многочисленными изотопными датировками, в том числе и U-Pb (SHRIMP-II) по петротипу [1, 3], принят как среднекембрийский. Однако нами установлено, что значительная часть лейкогаббро, монцонитов, монцодиоритов, кварцевых монцодиоритов и сиенитов имеет более молодой позднекембрийско-раннеордовикский возраст, что дает возможность расчленить габбро-монцодиоритовую

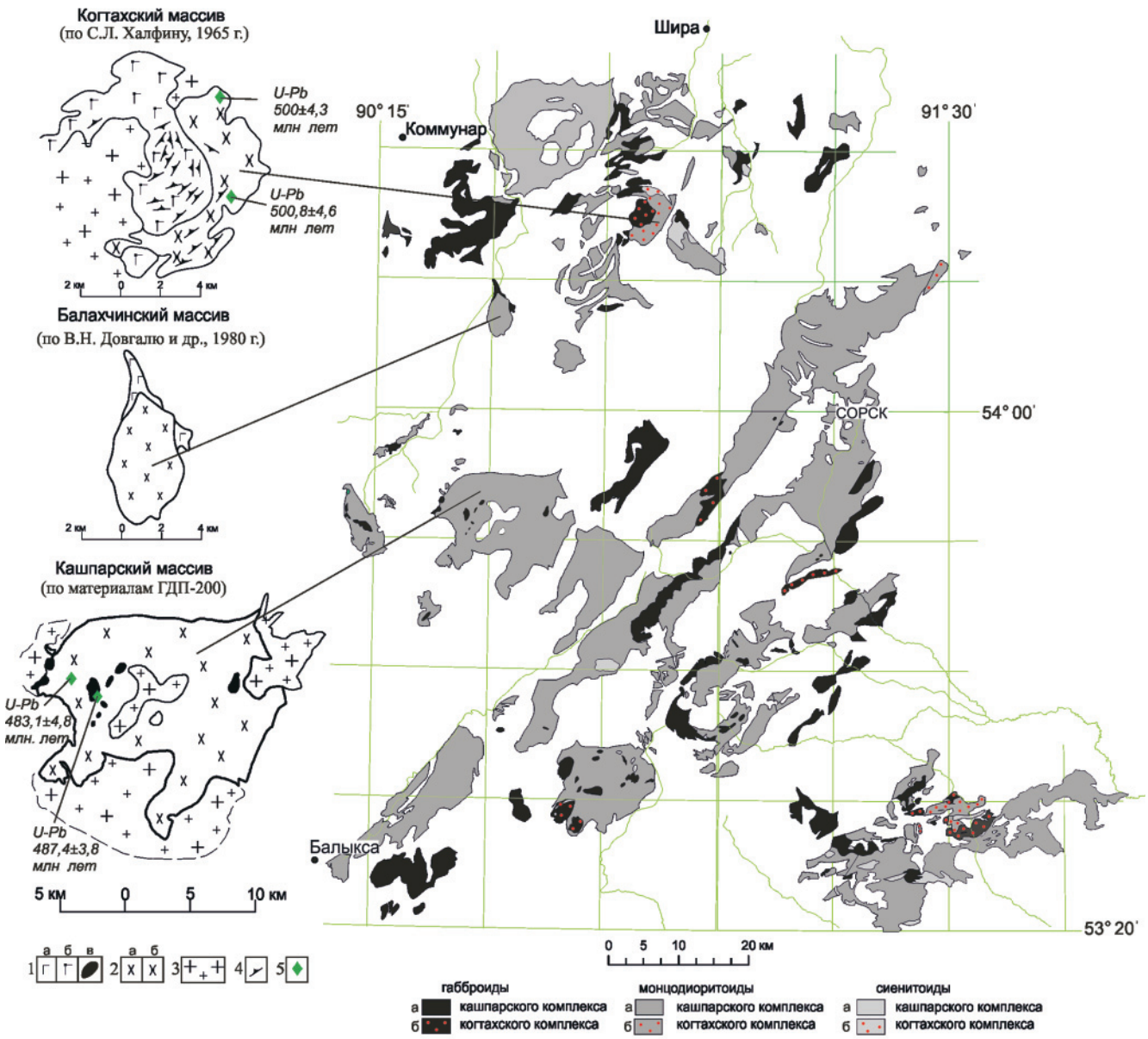


Рис. 1. Схемы геологического строения представительных массивов кашпарского и когтахского комплексов

1 – габброиды первой фазы: а – кашпарские, б – когтахские, в – внемасштабные тела; 2 – магматиты второй фазы: а – кашпарские диоритоиды, б – когтахские лейкобазиты; 3 – гранитоиды тигертышского комплекса разнозернистые и среднезернистые; 4 – трахитоидность в образованиях когтахского массива; 5 – пункты изотопного датирования U-Pb по цирконам (SHRIMP II) (ГДП-200, А. Д. Котельников и др.)

формацию на две самостоятельные магматические ассоциации (рис. 1).

К первой ассоциации отнесены мелкие массивы, близкие по строению интрузиву горы Когтах и представленные среднекембрийским габбро-монцодиорит-сиенитовым когтахским комплексом, который достаточно широко и детально описан в литературе [1–3, 8] и привлекается в настоящей статье в качестве иллюстрации для сравнения.

Вторая ассоциация выделена в габбро-диорит-кварц-монцодиорит-сиенитовый кашпарский комплекс позднекембрийского – раннеордовикского возраста, который изучался нами с 2008 по 2016 гг. при проведении ГДП-200 на площади двух номенклатурных листов (N-45-XXIV и N-46-XIX).

В состав установленного нами нового для региона комплекса следует включить Кашпарский массив и ряд интрузивов, в том числе Балахчинский, Базановский, Гольцовый, Теренсинский, Туралыгский, Инейский, Казанныхский, Казырский, Маганакский, Казырганский, Каролиновский, Усть-Бюрьский, Аёшинский, Хызылхаянский, Синявинский, Бордашевский, Базинский, Буланкульский (западный), Сырскую и Саксырскую группы массивов, а также некоторые другие интрузивы, статус которых пока не определен.

Кашпарский массив выбран в качестве петротипического, поскольку по нему есть авторские абсолютные датировки (U-Pb по цирконам) главных интрузивных фаз (габброидов и диоритоидов),

а также достаточное количество определений микроэлементного состава горных пород, выполненных методом ICP-MS в Томском государственном университете.

Геология и петрографический состав

Петротипический Кашпарский массив расположен в бассейне одноименной реки – левого притока р. Харатас. Он представляет собой почти изометричное штокообразное тело со сложными, извилистыми контактами общей площадью 200 км^2 (см. рис. 1) и приурочен к восточной экзоконтактовой зоне центрального блока Тигертышского полиформационного плутона. На севере интрузив прорывает карбонатные отложения биджинской свиты венда. Массив почти полностью состоит из бескварцевых и кварцевых неотчетливо трахитоидных монцодиоритов второй фазы (196 км^2), связанных между собой постепенными взаимопереходами, в которые включена цепочка реликтовых тел габброидов первой фазы северо-восточного простирания общей площадью в 4 км^2.

На западе, юге и частично востоке наблюдается контакт диоритоидов с прорывающими их лейкократовыми гранитами Тигертышского плутона, которые также закартированы в самом центре Кашпарского массива в виде небольшого (15 км^2) неправильной формы тела северо-восточного простирания с активными рвущими контактами. Граниты встречаются также в виде маломощных дайковых тел, пронизывающих диоритоиды. На контактах возникают зоны постмагматической амфиболизации (актинолитизации), окварцевания и калишпатизации.

Первая фаза кашпарского комплекса представлена пироксен-роговообманковыми, роговообманковыми и биотит-пироксен-роговообманковыми разновидностями габброидов с постепенными переходами между ними. При этом в Саксырской и Сырской группах массивов, а также в Казырганском интрузиве преобладают мезо- и лейкократовые пироксен-роговообманковые базиты, в Кашпарском массиве широко развиты ксенолиты и останцы биотит-пироксен-роговообманковых габбро, в Маганакском – доминируют роговообманковые разновидности. Общая отличительная черта – безоливиновый характер габброидов. Жильная серия – редкие дайки микрогаббро. В габброидах распространены лабрадор An_{50} (38–52 %), клинопироксен и роговая обманка при преобладании последнего минерала (35–50 %), биотит (до 5–7 %), акцессорные минералы – магнетит, апатит, титанит (в сумме до 5–6 %).

В отличие от первой фазы кашпарского комплекса **первая фаза когтахского** состоит из резко дифференцированных пироксен-роговообманковых, биотит-пироксеновых оливинсодержащих мезо- и меланократовых (вплоть до габброперидотитов), редко лейкократовых габбро. Жильная серия (габбропорфириты) слабо проявлена. В некоторых массивах (Кискачинский, Тибекский) габброиды первой фазы доминируют, в других их доля по отношению к лейкобазитам примерно равнозначна. Наиболее распространены пироксен-роговообманковые габбро и монцогаббро (Когтахский, Тибекский, частично Каратагский массивы); биотит-пироксеновые разновидности характерны для Каратагского и Пистагского массивов. Оливинсодержащие габброиды, кроме Когтахского массива, также встречаются в Кискачинском и Каратагском интрузивах. Формы залегания концентрически-зональные (Когтахский, Каратагский массивы), срезанные разломами (Тибекский, Кискачинский массивы). В некоторых массивах отмечаются элементы отчетливой дифференцированности (расслоенности).

Вторая фаза кашпарского комплекса представлена породами среднего состава. Это габбродиориты, диориты, монцодиориты, кварцевые монцодиориты и кварцевые монцониты биотит-пироксеновые, двупироксеновые, биотит-роговообманковые, пироксен-роговообманковые, роговообманковые. Для обозначения всей совокупности горных пород второй фазы целесообразно применять групповой термин «диоритоиды» из-за частого присутствия в лейкократовых породах небольших количеств нормативного, а также модального кварца и гиперстена при полном отсутствии нормативного нефелина. Петрографический облик пород среднего состава на изученной площади пестрый и обусловлен сочетанием диоритоидов без модального кварца и с ним. Между этими образованиями существуют постепенные взаимопереходы, но все же намечаются определенные закономерности в их пространственной локализации. Так, в Саксырской группе массивов доминируют бескварцевые роговообманковые диориты и габбродиориты, значительно реже встречаются участки с кварцсодержащими монцодиоритами; в петротипическом Кашпарском массиве развиты бескварцевые и кварцевые биотит-пироксеновые, биотит-двупироксеновые, биотит-пироксен-роговообманковые монцодиориты с «пятнами» монцонитов; в Сырской группе массивов много кварцевых роговообманковых и биотит-роговообманковых монцодиоритов и монцонитов, реже встречаются роговообманковые бескварцевые разновидности.

Среди диоритоидов иногда отмечаются образцы с заметной примесью ромбического пироксена (до 5 %). Доминирующим минералом является плагиоклаз $An_{28–38}$ (50–55 %), обнаружены калиево-натриевый полевой шпат (5–20 %), клинопироксен (3–15 %), амфибол (2–10 %), биотит (5–10 %), примесь ромбического пироксена (в среднем 0,5 %), акцессории – магнетит, апатит, титанит (до 5–6 %). Отметим, что количество модального кварца очень изменчиво: от полного отсутствия и акцессорного содержания (0,1–3 %) до 10 % за счет уменьшения общего количества плагиоклаза, снижения его основности ($An_{22–25}$) и увеличения доли калишпата.

При этом в локальных зонах появляются участки кварцевых сиенитов.

Вторая фаза когтахского комплекса сложена бескварцевыми монцодиоритами, монцонитами, биотит-пироксеновыми с примесью роговой обманки и оливина, иногда нефелинсодержащими. Жильная серия – дайки микромонцодиоритов. Для обозначения всей совокупности пород среднего состава целесообразно использовать удачный термин «лейкобазиты», предложенный А. П. Кривенко и др. [2], имея в виду что лейкобазиты – это бескварцевые породы среднего состава, содержащие небольшие количества нормативного (редко модального) нефелина и оливина. Петрографический облик лейкобазитов на изученной площади довольно выдержан. Это биотит-пироксеновые монцониты и монцодиориты, редко диориты с примесью роговой обманки. Для нефелинсодержащих пород Пистагского и Буланкульского массивов петрографический состав такой же, за исключением появления небольших количеств модального нефелина и оливина.

Третья фаза кашпарского комплекса, представленная сиенитами двуполевошпатовыми и кварцевыми, развита крайне ограниченно и состоит из дайкообразных, редко изометричных сиенитоидных тел, либо размещенных внутри «материнских» интрузивов (Сырская группа массивов, Каролиновский массив), либо выходящих за их пределы, где они прорывают интрузивы более древнего когтахского комплекса (например, Каратагский массив), либо даже в карбонатных отложениях мартюхинской свиты венда. Характерно, что сиенитоиды третьей фазы закартированы главным образом в южной половине изученной территории в контурах Сырской группы массивов и почти не встречены в центральных и северо-западных секторах, где доминируют дайки и штоки граносиенитов юлинского комплекса ($\gamma\xi O_{2-3}$).

Третья фаза когтахского комплекса, установленная при проведении ГДП-200 [4], утвержденная серийной легендой Госгеолкарты-200 Минусинской серии и отсутствующая в работе А. П. Кривенко и Г. В. Полякова [2], изучена нами в контурах Буланкульского (восточный участок) и Тибекского массивов. Она сложена щелочными и нефелиновыми сиенитами. Нам представляется, что включение в состав комплекса сиенитов и нефелиновых сиенитов вполне логично и хорошо согласуется не только с эмпирически выявленной тенденцией значительного повышения щелочности по мере роста содержаний SiO_2 в дифференциатах массивов, но и с прямыми полевыми наблюдениями, свидетельствующими о тесной пространственной сопряженности сиенитоидов с представителями первых двух фаз.

На Буланкульском массиве породы третьей фазы состоят из роговообманковых, биотит-роговообманковых, пироксен-роговообманковых щелочных и нефелиновых сиенитов с признаками автометасоматической нефелинизации и калишпатизации. Нефелинсодержащие породы, также исследованные авторами, встречаются в Тырдановском, Килимпаспахском, Намштакском и Бискамжинском интрузивах.

Если абстрагироваться от деталей, то можно отметить следующие главные геолого-петрографические признаки различия **кашпарского** и **когтахского** комплексов.

Во-первых, они различаются по морфологии массивов. Форма залегания массивов когтахского комплекса концентрически-зональная, изометричная с чашеобразным внутренним строением: в центре – расслоенные (дифференцированные) габбро, на периферии – полукольцо трахитоидных монцодиоритов и монцонитов. Доля габброидов относительно лейкобазитов достигает 1:1. Реже встречаются массивы вытянутой формы.

Для массивов кашпарского комплекса характерна иная морфология, а именно эллипсовидная, вытянутая, с элементами воронкообразного (желобовидного) строения, штокообразная, линейная, дайкообразная, иногда неправильная (вплоть до причудливой) в зонах тесного сопряжения с гранитоидами, без отчетливых признаков магматической дифференциации. Соотношение габброидов и диоритоидов в массивах кашпарского комплекса не превышает 1:10.

Во-вторых, образования двух комплексов заметно различаются и по петрографическим особенностям.

Для пород кашпарского комплекса типично: 1) отсутствие оливина; 2) преобладание роговой обманки над клинопироксеном; 3) присутствие в габброидах плагиоклаза пониженной основности; 4) наличие ромбического пироксена (гиперстена) в отдельных образцах; 5) частое присутствие модального кварца в породах второй и третьей фаз.

В противоположность этому для пород когтахского комплекса характерно: 1) присутствие оливина во многих породах первой и второй фазы; 2) преобладание клинопироксена над роговой обманкой в породах всех трех фаз; 3) присутствие плагиоклаза повышенной основности в габброидах первой фазы; 4) отсутствие модального кварца и ортопироксена в породах всех трех фаз; 5) присутствие модального нефелина в лейкобазитах (эссекситах) и нефелиновых сиенитах.

Аналитические методы

U-Pb-изотопный анализ акцессорного циркона, выделенного для возрастного датирования, выполнен на ионном микрозонде SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского (Санкт-Петербург) по стандартной методике [21]. Обработка данных осуществлялась по программе SQUID [16] с нормированием по стандарту TEMORA. Погрешности для изотопных отношений и возрастов оценивались в интервале ±2σ. При построении графиков с конкордией применялась программа ISOPLOT/Ex [15].

Содержания петрогенных (в мас. %) и редких (в г/т) элементов измерены методами рентгенофлюоресцентного анализа (РФА, энергодисперсионный спектрометр Oxford ED2000) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP–MS, масс-спектрометр высокого разрешения Agilent 7500cx) в Аналитическом центре геохимии природных систем Томского государственного университета.

Химический анализ породообразующих минералов выполнен методом рентгеноспектрального микроанализа на растровом электронном микроскопе Tescan Vega II LMU, оборудованном энергодисперсионным спектрометром Oxford INCA Energy (с детектором Si(Li) Standard) и волнодисперсионным спектрометром Oxford INCA Wave 700.

Петрогеохимический состав

Химические составы петрогенных элементов пород кашпарского комплекса (54 пробы) выполнены методом РФА в Аналитическом центре геохимии природных систем ТГУ. На TAS-диаграмме (рис. 2) фигуративные точки образуют три четко оформленных композиционных поля. Габброиды занимают поле I, расположенное в нормально- и умеренно-щелочном секторах диаграммы с компактным распределением точек и с параметрами: по SiO_2 от 47,3 до 51,6 %; Na_2O+K_2O от 3,3 до 5,8 %. Это умеренно-глиноземистые (*al´* = 1,1), калиево-натриевые Na_2O/K_2O = 2,6, умеренно-калиевые по абсолютному содержанию K_2O (1,3 %) породы. Лишь два анализа содержат ничтожную примесь (0,66 %) нормативного кварца, в остальных анализах нет ни нормативного кварца, ни нормативного нефелина.

Поле II включает аналитические точки пород среднего состава, среди которых выделяются диоритоиды без модального (19 анализов) кварца и с ним (15 анализов). Бескварцевые диоритоиды занимают центральную часть диаграммы в габбродиорит-диорит-монцодиоритовых секторах в интервале SiO_2 от 52 до 59 %, при сумме щелочей 4,6–8,3 %; коэффициент *al´* = 1,5, Na_2O/K_2O = 2,3. В бескварцевых диоритоидах нет модального кварца, но в 50 % анализов появляются незначительные количества (до 5 %) нормативного кварца. Диоритоиды с модальным кварцем занимают монцодиоритовый и монцонитовый умеренно-щелочной сектор диаграммы в диапазоне по SiO_2 от 57,7 до 62,7 %, при сумме щелочей от 5,8 до 8,4 %; коэффициент *al´* = 2,2, Na_2O/K_2O = 1,7. Содержание модального кварца в среднем 8,2 %.

Поле III занято двуполевошпатовыми сиенитами и кварцевыми сиенитами с параметрами по SiO_2 от 60 до 65 %, при сумме щелочей от 8,9 до 10,8 %; коэффициент *al´* = 4,4, что характерно для весьма глиноземистых составов. Отношение Na_2O/K_2O = 1,3, абсолютное содержание K_2O в среднем составляет 4,9 мас. %, что типично для калиево-натриевых серий с высококалиевым уклоном. Среднее содержание модального кварца для двуполевошпатовых и кварцевых сиенитов оценивается в 6,5 %

Что касается когтахского комплекса (36 анализов), то, как видно из рис. 2, для него также характерно присутствие четко очерченных композиционных полей.

Поле IV расположено в крайнем левом углу диаграммы и включает аналитические точки габброидов с широким разбросом содержаний SiO_2 (38,6–49,0 %) и общей щелочности (Na_2O+K_2O от 0,9 до 5,2 %). Такие резкие колебания петрохимических характеристик связаны с процессами гравитационной и фракционной дифференциации магматического расплава. Габброиды относятся к умеренно-титанистым (среднее содержание TiO_2 = 1,32 %), к умеренно-глиноземистым (*al´* = 0,85) калиево-натриевым (Na_2O/K_2O = 2,8) породам с повышенным содержанием P_2O_5 (0,78 %). Для подавляющего большинства базитов характерно присутствие нормативного нефелина (в среднем 3,9 %, метод CIPW).

Поле V сложено бескварцевыми лейкобазитами с параметрами по SiO_2 от 50 до 53,5 %, по сумме щелочей от 6,0 до 8,0 %. Это высокоглиноземистые (*al´* = 1,5), калиево-натриевые (Na_2O/K_2O = 1,8) породы с повышенным абсолютным содержанием K_2O (2,44 %). Многие анализы (70 %) при пересчете по методу CIPW содержат нормативный нефелин (в среднем 4,4 %).

Поле VI содержит фигуративные точки лейкобазитов с модальным нефелином. Оно расположено на линии раздела умеренно-щелочных (монцониты) и щелочных (фойдовые сиениты) пород и характеризуется следующими параметрами: содержание SiO_2 от 53,4 до 56,1 %, сумма щелочей от 9,3 до 10,2 %. Это высокоглиноземистые (*al´* = 2,3), высококалиевые по абсолютному содержанию K_2O = 4,0 % породы калиево-натриевой серии (Na_2O/K_2O = 1,3). Количество модального нефелина составляет в среднем 6,0 %.

Поля VII и VIII заняты нефелиновыми и щелочными сиенитами. Содержание SiO_2 в нефелиновых сиенитах колеблется от 54,3 до 57,1 %, сумма щелочей – от 12,6 до 15,7 %, среднее содержание модального нефелина 12,5 %, коэффициент *al´* = 4,4, отношение Na_2O/K_2O = 1,1. Что касается щелочных сиенитов, то они бескварцевые и содержат SiO_2 от 59,2 до 65,3 % при сумме щелочей от 11,0 до 12,9 %, отношение Na_2O/K_2O = 1,4.

Главной особенностью петрохимической эволюции магматических дифференциатов кашпарского комплекса является относительно медленное нарастание содержаний Na_2O+K_2O (до 11 %) по мере роста кремнекислотности в диапазоне от 47 до 65 % SiO_2, что контрастирует с резким «взрывным» характером возрастания суммы щелочей (до 16 %) в узком диапазоне кремнекислотности (от 50 до 58 %) в когтахском комплексе при сохранении в сопоставляемых образованиях общего калиево-натриевого типа щелочности с калиевым

№ 2(34) ♦ 2018

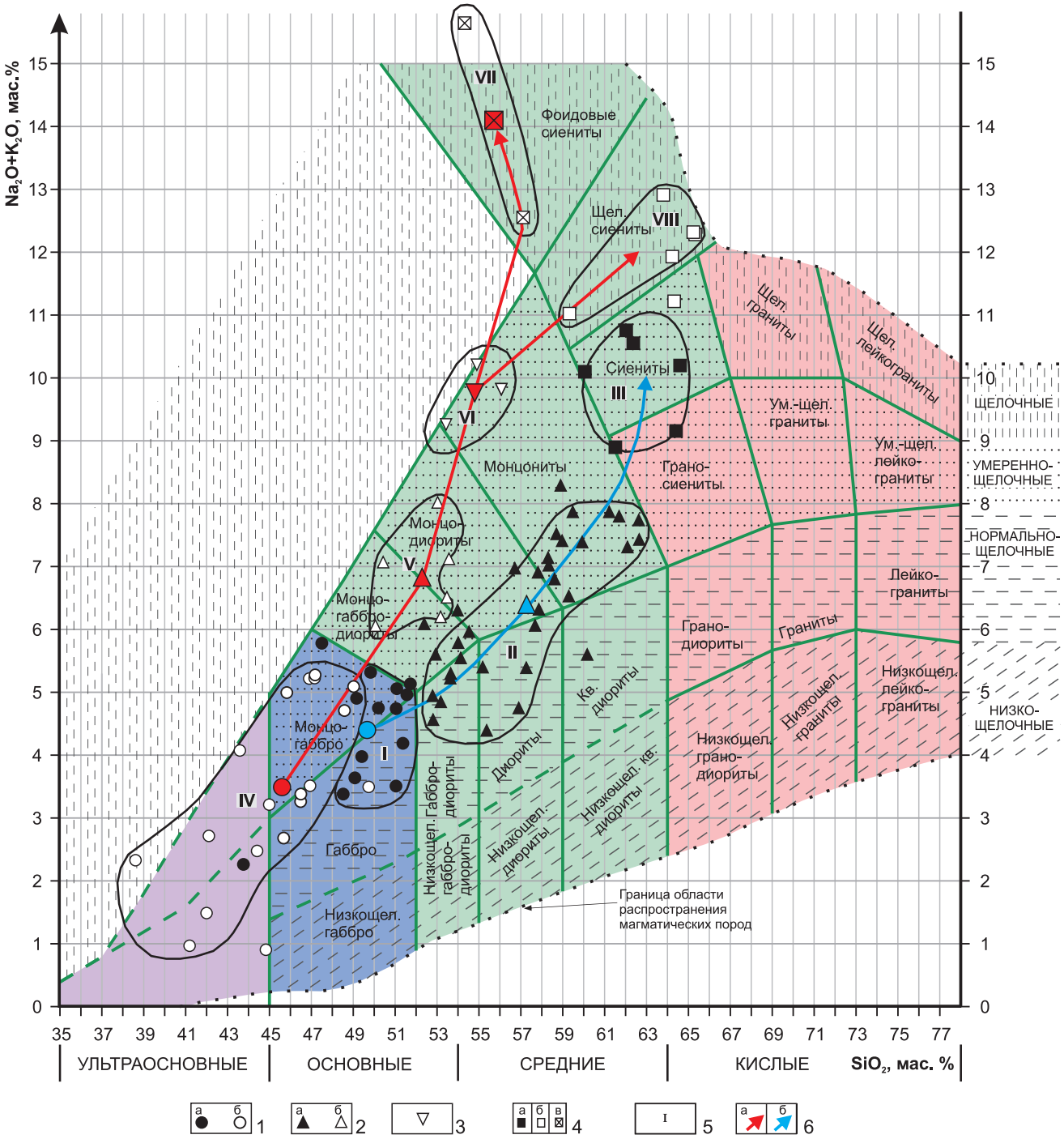


Рис. 2. Распределение аналитических точек составов горных пород кашпарского и когтахского комплексов на TAS-диаграмме (по авторским химическим анализам, 2008–2015 гг.)

1 – габброиды: кашпарского (а), когтахского (б) комплексов; 2 – диоритоиды кашпарского комплекса (а), лейкобазиты (монцодиориты) когтахского комплекса (б); 3 – нефелинсодержащие лейкобазиты когтахского комплекса; 4 – сиенитоиды: двуполевошпатовые кварцсодержащие сиениты кашпарского комплекса (а), щелочные сиениты когтахского комплекса (б), нефелиновые сиениты когтахского комплекса (в); 5 – композиционные поля фигуративных точек горных пород и их номера (I–VIII); 6 – петрохимические тренды: для когтахского (а) и кашпарского (б) комплексов. *Примечание: крупными красными знаками обозначены средние составы горных пород в контурах выделенных полей*

и высококалиевым уклоном химизма. Некоторый «избыток» SiO_2 реализуется в появлении небольших количеств нормативного и модального кварца в диоритоидах и сиенитоидах кашпарского комплекса при отсутствии даже акцессорных примесей нормативного нефелина, столь характерного для не насыщенных SiO_2 представителей когтахского комплекса.

Изучение химических составов амфиболов кашпарского комплекса (22 образца, 54 частных определения) показало, что в габброидах и диоритоидах доминирует магнезиальная роговая

обманка. В первой (габброидной) фазе она присутствует во всех 13 образцах (21 определение), и лишь в одной пробе наряду с магнезиальной роговой обманкой установлен эденит. Во второй диоритоидной фазе она встречается в семи из девяти образцов, и лишь в двух пробах зафиксированы магнезиогастингсит и эденит. В химическом составе магнезиальной роговой обманки содержание Al_2O_3 в среднем 6,2 %, SiO_2 48,9 %, MgO 14,4 %, TiO_2 1,1 %, $FeO_{сум}$ 13,5 %, содержание суммы щелочей не превышает 2,8 %. Железистость роговых обманок в габброидах и диоритоидах одинакова – от 43 до 66 %, в среднем 52 %.

В химических составах магнезиальной роговой обманки нет нормативных примесей нефелина или кварца, чем они кардинально отличаются от амфиболов когтахского комплекса, в которых всегда содержится ощутимое количество нормативного нефелина. Интересно, что постмагматический актинолит всегда пересыщен SiO_2 и содержит нормативный кварц (до 5–7 %).

При изучении химических составов амфиболов когтахского комплекса (27 образцов, 64 частных определения) установлено, что во всех трех фазах присутствуют амфиболы, относящиеся к паргасит-гастингситовому ряду: гастингсит, магнезиогастингсит, эденит, ферроэденит. Железистость амфиболов колеблется для габброидов от 37 до 72 % (в среднем 54 %), для лейкобазитов – от 44 до 80 % (64 %), для сиенитоидов – от 45 до 88 % (67 %), т. е. намечается рост железистости от первой фазы к третьей. Содержание Al_2O_3 в амфиболах повышено (в среднем 11,4 %), при этом минимальные содержания (6,04–9,41 %) характерны для эденита, максимальные (13,4–14,8 %) – для паргасита, гастингсита и магнезиогастингсита. Также повышены концентрации TiO_2 (2,5 %), $FeO_{сум}$ (17,3 %), Na_2O (2,4 %), K_2O (1,3 %), а средние содержания SiO_2 (41,2 %) и MgO (10,1 %), наоборот, понижены.

В химических составах амфиболов паргасит-гастингситового ряда всегда присутствует нормативный нефелин (до 10–15 %), что хорошо коррелируется со спецификой химизма критически недосыщенных SiO_2 пород.

Таким образом, состав роговых обманок отражает степень насыщения пород SiO_2 – от критически недосыщенных (когтахский комплекс) до насыщенных (кашпарский комплекс).

Разное содержание суммарного Al, щелочей и Ti в амфиболах двух комплексов позволяет оценить в первом приближении относительную разницу в условиях кристаллизации дифференциатов когтахского и кашпарского комплексов (рис. 3).

В составе амфиболов «закодирована» информация по направленности процессов эволюции материнских расплавов. Так, из анализа диаграмм $Mg/Mg+Fe^{2+}$-Si (рис. 4), на которых нанесены фигуративные точки групповых средних составов амфиболов, отчетливо видно, что для амфиболов когтах-

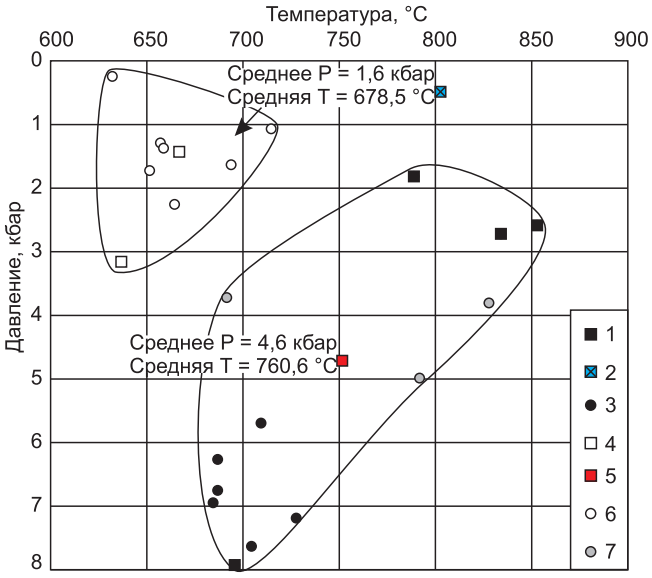


Рис. 3. Диаграмма P-T для амфиболов из магматических пород когтахского и кашпарского комплексов; значение P (кбар) рассчитано по методам [9, 11, 18], T (°C) – по амфибол-плагиоклазовым геотермометрам [10, 12, 13, 19]

Точками обозначены средние значения, контурами – поля единичных значений: 1–3 – когтахский комплекс: 1 – амфиболы с высоким содержанием алюминия из габброидов, 2 – магнезиальные роговые обманки из габброидов, 3 – амфиболы с высоким содержанием алюминия из лейкобазитов; 4–7 – кашпарский комплекс: 4 – магнезиальные роговые обманки из габброидов, 5 – амфиболы с высоким содержанием алюминия из габброидов, 6 – магнезиальные роговые обманки из диоритоидов, 7 – амфиболы с высоким содержанием алюминия из диоритоидов

ского комплекса тренд эволюции составов от ранних фаз к поздним направлен в сторону увеличения их железистости и в меньшей степени кремнекислотности (см. рис. 4, а). Это свидетельствует о «нормальном» течении процессов кристаллизационной дифференциации. Для амфиболов кашпарского комплекса (см. рис. 4, б) характерна обратная картина: резкий эволюционный рост содержаний Si при минимальных изменениях магнезиальности и железистости, что может быть связано с нарушением «обычного» хода дифференциации какими-то осложняющими факторами.

В распоряжении авторов имеются 52 анализа микроэлементного состава горных пород кашпарского и 31 анализ когтахского комплексов, выполненных методом ICP-MS в аналитическом центре ТГУ. Сопоставление этих данных показывает, что для пород комплексов характерны широкие вариации содержаний ряда микроэлементов, а именно: для кашпарского комплекса Sr (363–2473 г/т), Ba (260–5215 г/т), Rb (13–168 г/т), Zr (12–277 г/т), Nb (1,8–37 г/т) и ∑REE (50–308 г/т); для когтахского комплекса Sr (582–2246 г/т), Ba (109–2899 г/т), Rb (2,6–148,8 г/т), Zr (12,7–625,1 г/т), Nb (0,35–65,2 г/т) и ∑REE (55–329,5 г/т) [5]. Отметим, что в однотипных породах двух комплексов средние суммарные со-

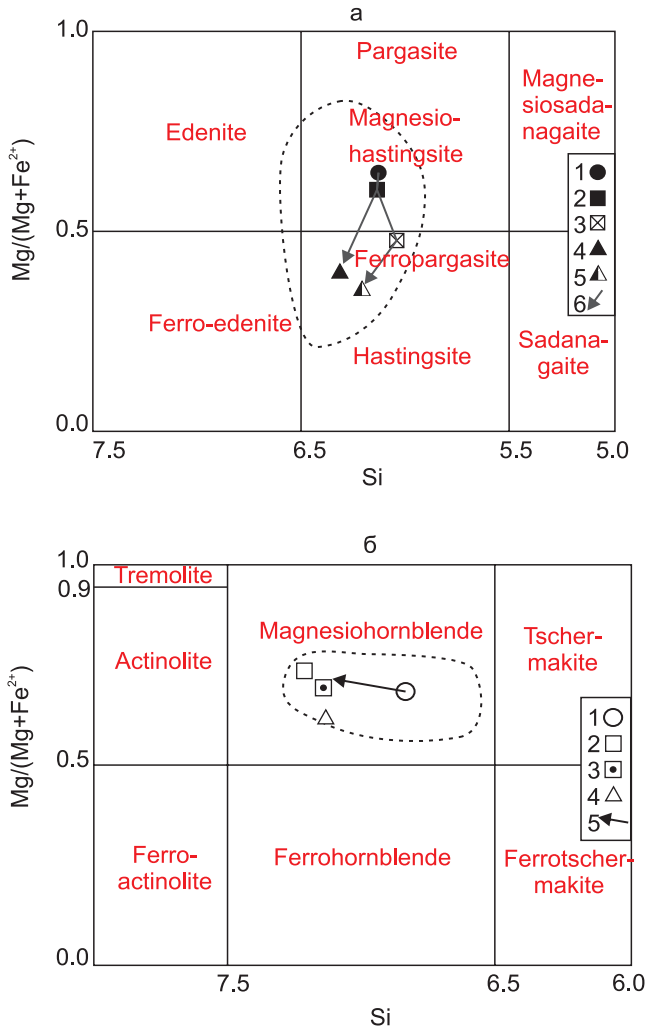
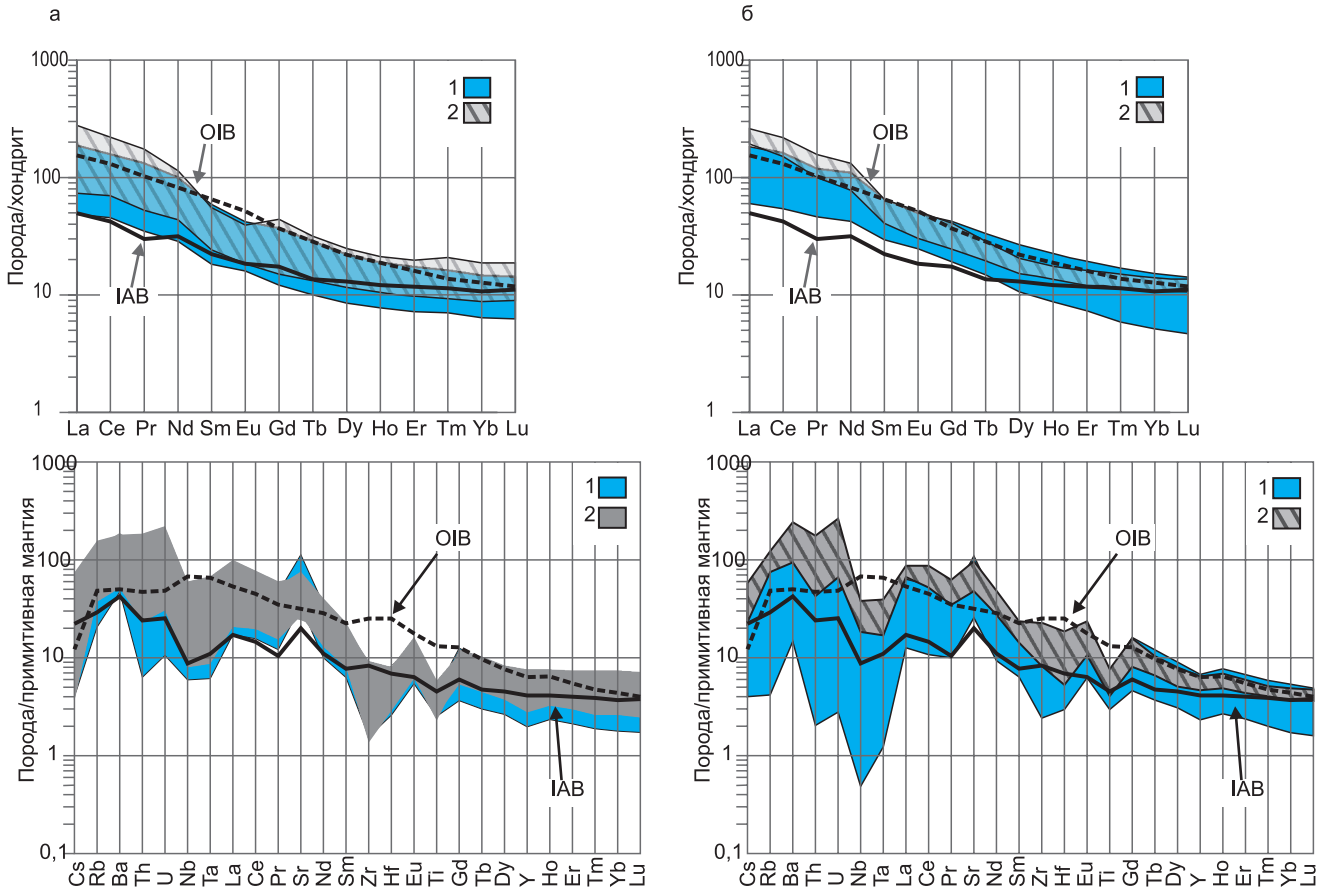


Рис. 4. Диаграммы Mg/(Mg+Fe2+) – Si (значения в формульных единицах) с точками групповых средних составов амфиболов из пород когтахского (а) и кашпарского (б) комплексов по [17]

Параметры диаграммы: CaB ≥ 1,50; (Na+K)A ≥ 0,50; Ti < 0,50: а – 1 – габброиды, 2 – лейкобазиты, 3 – нефелинсодержащие лейкобазиты (эссекситы), 4 – щелочные сиениты, 5 – нефелиновые сиениты, 6 – тренды эволюции составов минералов; б – 1 – габброиды, 2 – кварцевые диоритоиды, 3 – бескварцевые диоритоиды, 4 – двуполевошпатовые и кварцевые сиениты, 5 – тренды эволюции составов минералов

Рис. 5. Распределение редких и редкоземельных элементов в породах: а – кашпарского (1 – габброиды, 2 – диоритоиды), б – когтахского (1 – габброиды, 2 – лейкобазиты) комплексов. Составы примитивной мантии и OIB – по [20]; состав IAB – по [14]



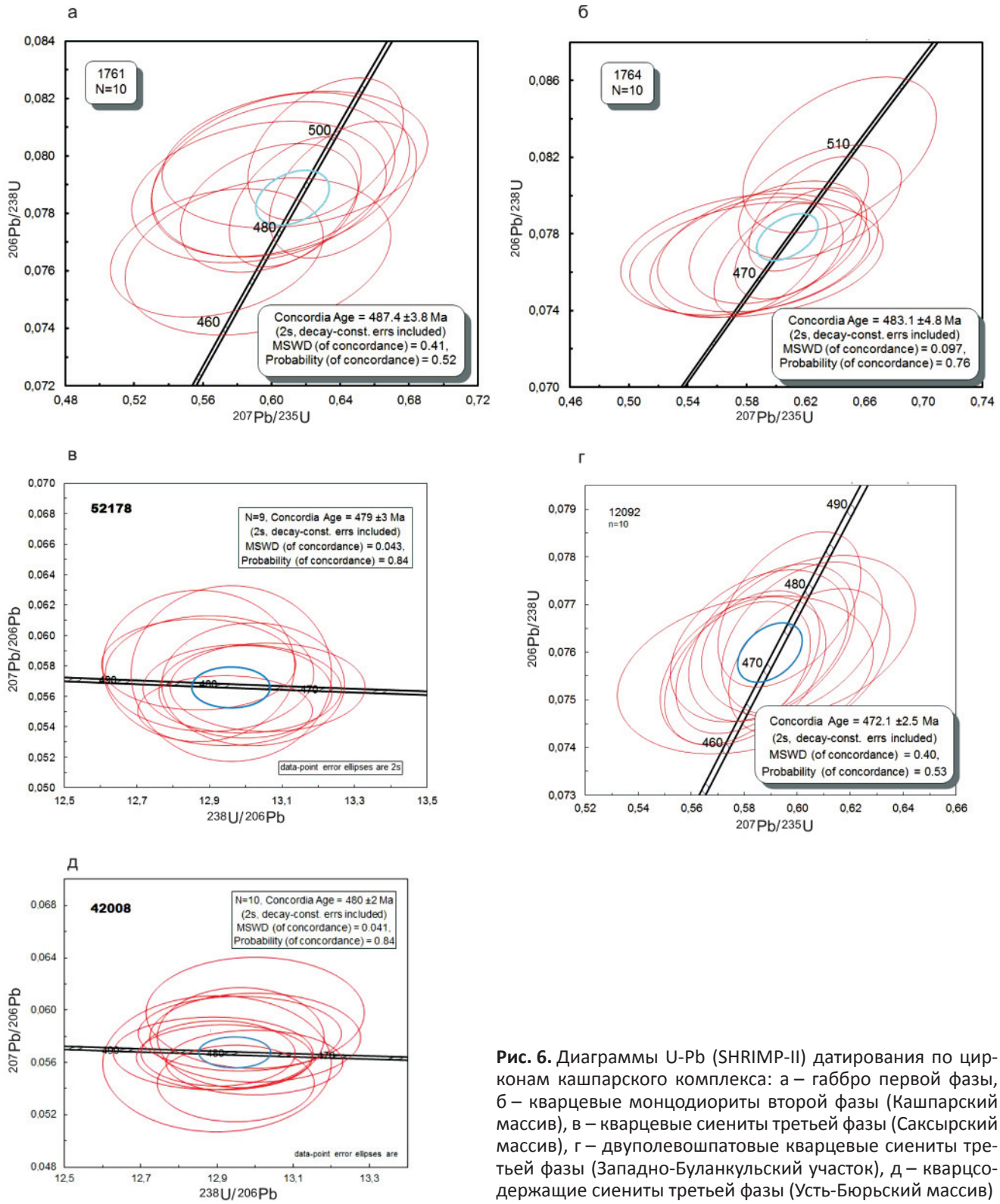


Рис. 6. Диаграммы U-Pb (SHRIMP-II) датирования по цирконам кашпарского комплекса: а – габбро первой фазы, б – кварцевые монцодиориты второй фазы (Кашпарский массив), в – кварцевые сиениты третьей фазы (Саксырский массив), г – двуполевошпатовые кварцевые сиениты третьей фазы (Западно-Буланкульский участок), д – кварцсодержащие сиениты третьей фазы (Усть-Бюрьский массив)

держания редких элементов (∑R и ∑REE) заметно различаются, причем в когтахском комплексе они более высокие, нежели в кашпарском, что может косвенно свидетельствовать в пользу предположения о разных P-T условиях формирования родоначальных магматических расплавов.

Спектры распределения редких элементов на мультиэлементных диаграммах для кашпарского и когтахского комплекса показаны на рис. 5. Для них установлено:

– преобладание легких лантаноидов над тяжелыми (La/Yb_N = 6–26);

– значительное обогащение LILE (Rb, Ba, U), La, что характерно для внутриплитовых базальтов типа OIB;

– резкие максимумы Sr, отчетливые минимумы Nb-Ta, Ti, Th, что типично для окраинно-континентальных базальтов типа IAB;

– глубокая Zr-Hf аномалия, несвойственная эталонным внутриплитовым и островодужным магматическим источникам.

На спектрах распределения REE (см. рис. 5) с ростом кремнекислотности пород происходит обогащение легкими REE по отношению к тяжелым и углубление отрицательных аномалий Eu.

Таким образом, магматические породы как кашпарского (см. рис. 5, а), так и когтахского (см. рис. 5, б) комплексов по распределению редких элементов близки по геохимическим характеристикам к окраинно-континентальным базальтам островных дуг (IAB), однако высокие нормированные концентрации LILE и HFSE типичны для обогащенного мантийного источника внутриплитных базальтов океанических островов (OIB). Вместе с тем между ними имеются и определенные различия. Несмотря на сходную конфигурацию спектров для кашпарского комплекса характерна меньшая выраженность Nb-Ta-минимумов, более явная отрицательная аномалия Zr и Hf, более однородные геохимические характеристики для пород основного и среднего составов.

Следует подчеркнуть, что кашпарский и когтахский комплексы характеризуются разной минерагенической специализацией. В первом случае это выражается в приуроченности к некоторым монцодиоритовым интрузивам золоторудных месторождений и проявлений золото-сульфидно-кварцевого типа (Балахчинский массив), во втором – в присутствии апогаббровых апатитовых рудопроявлений автометасоматического типа (Намштагский массив) и пунктов магнетитовой минерализации.

Изотопные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в габброидах первой фазы внедрения когтахского комплекса (0,70471 в габбро петротипического Когтахского массива), монцодиоритах второй фазы (0,70403 в Когтахском массиве) и гастингситовых сиенитах третьей фазы (0,70387 в Уйбатском плутоне) указывают на отсутствие значимого влияния корового компонента в генезисе магматитов когтахского комплекса. Однако они не исключают полностью и возможность небольшой контаминации коровым веществом.

В массивах кашпарского комплекса изотопный состав стронция ($^{87}Sr/^{86}Sr$) достигает значений 0,7052, что свидетельствует об усилении процессов коровой контаминации.

U-Pb изотопно-геохронологические исследования

Уран-свинцовым датированием (SHRIMP-II) пород петротипического Кашпарского массива авторами получены следующие цифры: для габброидов первой фазы – 487,4±3,8 млн лет (рис. 6, а); для кварцевых монцодиоритов второй – 483,1±4,8 млн лет (см. рис. 6, б). К этим цифрам близки датировки кварцевых монцонитов Уленьтуимского (486±4 млн лет) и диоритов Саксырского (486±3 млн лет) плутонов [7]. В результате датирования сиенитоидов третьей фазы кашпарского комплекса при проведении ГДП-200 получены три даты: 479±3 млн лет для кварцевых сиенитов Саксырской группы массивов (см. рис. 6, в); 472,1±2,5 млн лет для двуполевошпатовых кварцевых сиенитов западного участка Буланкульского массива (см. рис. 6, г) и 480±2 млн лет для кварцсодержащих сиенитов Усть-Бюрьского массива (см. рис. 6, д).

Таким образом, изотопные датировки трехфазного кашпарского комплекса (472–487 млн лет) свидетельствуют о его **позднекембрийско-раннеордовикском ($Є_3$–O_1)** возрасте. Эти даты заметно отличаются от установленных авторами цифр для монцодиоритов петротипа когтахского комплекса – 500±4,3 и 500,8±4,6 млн лет (см. рис. 1) [3].

Выводы

Полученные нами в результате геолого-съемочных работ новые материалы по петрографическому, минералогическому и петрогеохимическому составам, а также по изотопному датированию магматических образований восточного склона Кузнецкого Алатау позволяют объединить умеренно-щелочные, умеренно-кремнекислые породы основного и среднего составов Кузнецко-Алатауской СФЗ в самостоятельный **кашпарский габбро-диорит-кварц-монцодиорит-сиенитовый комплекс**, предшествующий становлению тигертышских гранитоидов ($Є_3$–O_1), «вычленив» его из состава более древнего и более щелочного **когтахского габбро-монцодиорит-сиенитового комплекса** ($Є_2$), который, согласно нашим данным [3], близок по возрасту мартайгинским гранитоидам ($Є_2$).

Эти материалы могут оказаться полезными при дальнейшей расшифровке геодинамической позиции и петрологических особенностей гранитоидных и базитовых ассоциаций, сопряженных во времени и в пространстве.

Авторы признательны коллеге Т. В. Козулиной за действенную помощь в проведении минералогических исследований и обобщении полученных результатов.

Работа выполнена в рамках государственных контрактов № 10 от 03.06.2008 г. «ГДП-200 листа N-45-XXIV (Усинская площадь)» и № 16 от 23.03.2012 г. «ГДП-200 листа N-46-XIX (Уйбатская площадь)» с Федеральным агентством по недропользованию «Роснедра» Министерства природных ресурсов РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Врублевский В. В., Котельников А. Д., Изох А. Э.** Геодинамические условия и магматические протолиты раннепалеозойской габбро-монцодиорит-монцонитовой ассоциации Кузнецкого Алатау // Геология и минерагения Северной Евразии: матер. совещ., приуроченного к 60-летию ИНГГ СО РАН, 3–5 октября 2017 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2017. – С. 53–54.

2. **Габбро-монцодиоритовая** формация Кузнецкого Алатау / А. П. Кривенко, Г. В. Поляков, В. И. Бог-

нибов, П. А. Балыкин // Базитовые и ультрабазитовые комплексы Сибири. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 5–95.

3. **Геодинамическая** природа и магматические источники Когтахского габбро-монцодиоритового плутона позднего кембрия, Кузнецкий Алатау / В. В. Врублевский, А. Д. Котельников, Н. А. Макаренко и др. // Петрография магматических и метаморфических горных пород: матер. XII Всерос. петрограф. совещ. с участием зарубежных ученых. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – С. 126–128.

4. **Государственная** геологическая карта РФ масштаба 1:200 000 (изд. 2-е). Серия Минусинская. Лист N-45-XVIII (Шира): объяснительная записка // сост. М. Н. Секретарев, А. П. Липишанов, В. В. Михайленко и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. – 151 с.

5. **Государственная** геологическая карта РФ масштаба 1:200 000 (изд. 2-е). Лист N-45-XXIV (Балыкса): объяснительная записка // сост. А. Д. Котельников, С. В. Максиков, А. Г. Дербан. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013.

6. **Макаренко Н. А., Парначев В. П.** Типоморфные особенности когтахского комплекса (Кузнецкий Алатау) // Вестн. ТГУ. – 2003. – № 3. – С. 106–108.

7. **Раннепалеозойский** гранитоидный магматизм западной части Алтае-Саянской складчатой области и молибденовое оруденение / Г. А. Бабин, С. П. Шокальский, А. Г. Владимиров и др. // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса: матер. совещ. Вып. 6, т. 1. – Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2018. – С. 27–31.

8. **Халфин С. Л.** Петрология когтахского габбро-монцонит-сиенитового комплекса. – Новосибирск: Наука, 1965. – 92 с.

9. **Anderson J. L., Smith D. R.** The effect of temperature and oxygen fugacityon Al-in-hornblende barometry // Amer. Miner. – 1995. – Vol. 80. – P. 549–559.

10. **Blundy J. D., Holland T. J. B.** Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer // Contrib. Mineral. and Petrol. – 1990. – Vol. 104, no. 2. – P. 208–224.

11. **Hammarstrom J. M., Zen E-An**. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // Amer. Miner. – 1986. – Vol. 71, no. 11/12. – P. 1297–1313.

12. **Holland T., Blundy J.** Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // Contrib. Mineral. and Petrol. – 1994. – Vol. 116. – P. 433–447.

13. **Jaques A. L., Blake D. H., Donchak P. J. T.** Regional metamorphism in the Selwyn Range area, northwest Queensland // BMR Journal of Australian Geology and Geophysics. – 1982. – Vol. 7, no. 3. – P. 181–196.

14. **Kelemen P. B., Hanghøj K., Greene A. R.** One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust // Treatise on Geochemistry / Eds. Y. D. Holland and K. K. Turekian. – Elsevier Ltd., 2003. – Vol. 3. – P. 593–659.

15. **Ludwig K. R.** User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. – Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1999. – Vol. 1. – 46 p.

16. **Ludwig K. R.** SQUID1.00. A User's Manual. – Berkley Geochronology Center Special Publication, 2000. – No. 2.

17. **Nomenclature** of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names / B. E. Leake, A. R. Woolley, Ch. E. S. Arps et al. // The Can. Miner. – 1997. – Vol. 35. – P. 219–246.

18. **Schmidt M. W.** Experimental calibration of the Al-in-hornblende geobarometer at 650 °C, 3.5–13.0 kbar // Terra abstracts. – 1991. – Vol. 3, no. 1. – P. 30.

19. **Spear F .S.** Amphibole-plagioclase equilibria: an empirical model for the relation albite + tremolite = edenite + quatz // Contrib. Mineral. and Petrol. – 1981. – Vol. 77, no. 4. P. 355–364.

20. **Sun S., McDonough W. F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins / eds. A. D. Saunders and M. J. Norry. – Geol. Soc. Spec. Publ., 1989.

21. **Williams I.S.** U–Th–Pb geochronology by ion microprobe. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes / eds. M. A. McKibben, W. C. Shanks, W. I. Ridley // Rev. Econ. Geol. – 1998. – Vol. 7. – P. 1–35.

REFERENCES

1. Vrublevskiy V.V., Kotelnikov A.D., Izokh A. E. [Geodynamic conditions and magmatic protoliths of the Early Paleozoic gabbro-monzodiorite-monzonite association of the Kuznetsk Alatau]. *Geologiya i minerageniya Severnoy Evrazii. Mat. soveshchaniya, priurochennogo k 60-letiyu Instituta geologii i geofiziki SO RAN. 3–5 okt. 2017 g. Novosibirsk* [Geology and minerageny of Northern Eurasia. Mater. Meeting dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Geology and Geophysics of the SB RAS. Oct. 3–5, 2017, Novosibirsk, Russia]. Novosibirsk, 2017, pp. 53–54. (In Russ.).

2. Krivenko A.P., Polyakov G. V., Bognibov V. I., Balykin P. A. [Gabbro-monzodiorite formation of the Kuznetsk Alatau]. *Bazitovye i ul'trabazitovye kompleksy Sibiri* [Basitic and ultrabasic complexes of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., USSR SB AS, 1979, pp. 5–95. (In Russ.).

3. Vrublevskiy V.V., Kotelnikov A.D., Makarenko N. A., et al. [Geodynamic nature and igneous sources of the Kogtakh gabbro-monzodiorite pluton of Late Cambrian, Kuznetsk Ala Tau]. *Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh gornykh porod. Mat. XII Vseros. Petrograficheskogo soveshch. s uchastiem zarubezhnykh uchenykh* [Petrography of igneous and metamorphic rocks. Mater. XII All-Russia. Petrographic Conf. with participation of foreign scientists]. Petro-

zavodsk, Karelian Research Center RAS Publ., 2015, pp. 126–128. (In Russ.).

4. Sekretarev M.N., Lipishanov A.P., Mikhaylenko V.V., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF masshtaba 1:200000 (izd. 2-e). List N-45-XVIII (Shira). Ob"yasnitel'naya zapiska.* [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200000 (edition 2nd). Sheet N-45-XVIII (Shira). Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2000. 151 p. (In Russ.).

5. Kotelnikov A.D., et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF masshtaba 1:200000 (izdanie 2-e). List N-45-XXIV (Balyksa). Ob"yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200000 (edition 2nd). Sheet N-45-XXIV (Balyksa). Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2013. (In Russ.).

6. Makarenko N.A., Parnachev V.P. [Typomorphic features of the Kogtakh complex (Kuznetsk Alatau)]. *Vestnik Tomskogo gos. un-ta* [Bulletin of Tomsk State University]. Tomsk, 2003, no. 3, pp 106–108. (In Russ.).

7. Babin G.A., Shokalskiy S.P., Vladimirov A.G., et al. [Early Paleozoic granitoid magmatism in the western part of the Altai-Sayan folded region and molybdenum mineralization]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa Mat. soveshch.* [Geodynamic evolution of the Central Asian mobile belt. Mater. Meeting]. Irkutsk, 2018, Inst. Earth's Crust SB RAS Publ., vol. 1, issue 6, pp. 27–31. (In Russ.).

8. Khalfin S.L. *Petrologiya kogtakhskogo gabbro-montsonit-sienitovogo kompleksa* [Petrology of the Kogtakh gabbro-monzonite-syenite complex]. Novosibirsk, Nauka Publ., USSR SB AS, 1965. 92 p. (In Russ.).

9. Anderson J.L., Smith D.R. The effect of temperature and oxygen fugacityon Al-in-hornblende barometry. *Amer. Miner*., 1995, vol. 80, pp. 549–559.

10. Blundy J.D., Holland T.J.B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contrib. Mineral. and Petrol*., 1990, vol. 104, no. 2, pp. 208–224.

11. Hammarstrom J.M., Zen E-An. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *Amer. Miner*., 1986, vol. 71, no. 11/12, pp. 1297–1313.

12. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral. and Petrol.*, 1994, vol. 116, pp. 433–447.

13. Jaques A.L., Blake D.H., Donchak P.J.T. Regional metamorphism in the Selwyn Range area, north-west Queensland. *BMR Journal of Australian Geology and Geophysics*, 1982, vol. 7, no. 3, pp. 181–196.

14. Kelemen P.B., Hanghøj K., Greene A.R. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. *Treatise on Geochemistry*. Eds. Y. D. Holland and K. K. Turekian. Elsevier Ltd., 2003, vol. 3, pp. 593–659.

15. Ludwig K.R. User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1999, vol. 1. 46 p.

16. Ludwig K.R. SQUID1.00. A User's Manual. Berkley Geochronology Center Special Publication, 2000, no. 2.

17. Leake B.E., Woolley A.R., Arps Ch.E.S., et al. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The Can. Miner*., 1997, vol. 35, pp. 219–246.

18. Schmidt M.W. Experimental calibration of the Al-in-hornblende geobarometer at 650 °C, 3.5–13.0 kbar. *Terra abstracts*, 1991, vol. 3, no. 1, p. 30.

19. Spear F.S. Amphibole-plagioclase equilibria: an empirical model for the relation albite + tremolite = edenite + quatz. *Contrib. Mineral. and Petrol*., 1981, vol. 77, no. 4, pp. 355–364.

20. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the ocean basins*. Eds. A.D.Saunders and M.J.Norry. Geol. Soc. Spec. Publ., 1989.

21. Williams I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Eds. M.A.McKibben, W.C.Shanks, W.I.Ridley. *Rev. Econ. Geol*., 1998, vol. 7, pp. 1–35.

© А. Д. Котельников, Н. А. Макаренко, 2018

УДК 553.31.061:552(571.17)

ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА ТАШТАГОЛЬСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНАЯ ШОРИЯ)

Ф. В. Кирилловский

Запсибгеология, Новокузнецк, Россия

Обсуждаются вопросы генезиса крупнейшего в Западной Сибири Таштагольского железорудного месторождения. На месторождении уже много лет идет добыча, но геологическое строение, генезис руд и структура однозначно еще не выяснены. Месторождение имеет сложное геологическое строение, вмещающие породы интенсивно метаморфизованы и рассланцованы Осадочных пород мало, их участки разобщены; сильно развиты сдвиго-надвиговые нарушения. Автор отрицает вулканогенно-осадочную гипотезу происхождения месторождения, полагая, что рудовмещающими породами служили не туфогенные породы мундыбашской свиты среднего кембрия, а эруптивные брекчии, слагающие краевые зоны интрузий габбро и сиенитов, которые ошибочно были приняты за туфы.

Ключевые слова: *Горная Шория, Таштагольское железорудное месторождение, генезис руд, эруптивные брекчии, интрузии габбро и сиенитов, уникальная магнитная аномалия.*

ISSUES OF TASHTAGOL IRON-ORE DEPOSIT GENESIS (GORNAYA SHORIYA)

F. V. Kirillovskiy

Zapsibgeologiya, Novokuznetsk, Russia

The article discusses the genesis of the Tashtagol iron-ore deposit, the largest in West Siberia. The deposit has been mining for many years, but its geology, ore genesis and structure have not yet been clarified. This can be explained by the fact that the deposit has a complex geological structure, the host rocks are intensively metamorphosed and interstratified, there are few sedimentary rocks, and their areas are separated, the shear-thrust disturbances are highly developed. The author denies the volcanogenic-sedimentary hypothesis of the deposit's origin, believing that not tuffaceous rocks of the Mundybashskaya Formation of Middle Cambrian served as ore-bearing rocks, but eruptive breccias forming the marginal zones of gabbro and syenite intrusions, which were mistaken for tuffs.

Keywords: *Gornaya Shoriya, ore genesis, eruptive breccia, gabbro and syenite intrusions, unique magnetic anomaly.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-61-64

Таштагольское месторождение – одно из самых крупных в Алтае-Саянском регионе. Оно детально изучено, перспективы практически определены, уже много лет идет добыча, но геологическое строение, генезис руд и структура однозначно еще не выяснены. Это можно объяснить тем, что месторождение имеет сложное геологическое строение, вмещающие породы интенсивно метаморфизованы и рассланцованы, осадочных пород мало, их участки разобщены, также сильно развиты сдвиго-надвиговые нарушения.

Но есть и субъективные причины, связанные с тем, что фактические материалы трактуются поразному и противоречиво. Эти противоречия были выявлены автором при анализе геолого-геофизических данных по месторождению. К сожалению, по известным причинам геологические исследования были прекращены и только в 2014 г. по инициативе автора и благодаря содействию руководства Кемеровского филиала ТФГИ по Сибирскому федеральному округу (Новокузнецк) результаты этого анализа в форме отчета были приняты в фонды.

В данной статье приведены только основные результаты, чтобы привлечь внимание будущих исследователей к указанной теме.

Первые разведчики месторождения считали магнетитовые руды контактово-метасоматическими и связывали их с интрузией сиенитов [1]. Тогда был известен только участок Восточный. Когда обнаружили «слепые» рудные тела на западном фланге, структуру рудного поля представляли в виде антиклинальной складки. Хотя наличие складки и не подтвердилось, тем не менее породы и руды были отнесены к «складчатой метаморфизованной толще среднего кембрия» [2].

Затем были обнаружены рудные тела и на северном фланге, и тогда вулканогенно-осадочная гипотеза их происхождения еще больше утвердилась. Начали выделять большие площади таких пород и искать фрагменты древних вулканических структур (кольцевые формы рельефа, геофизические аномалии). При этом генезис руд был определен весьма расплывчато: контактово-метасоматический или вулканогенно-осадочнный. В последнем случае считалось, что рудные тела были метаморфизованы при внедрении интрузии с улучшением качества руд [4].

По данным геологической съемки м-ба 1:10 000 породы района определены как вулканогенно-осадочные и выделены в мундыбашскую свиту средне-

го кембрия, состоящую из шести подсвит, в которой рудовмещающей толщей для магнетитовых руд на всех без исключения железорудных месторождениях Кондомского района является вторая пачка или подсвита. Проведенные несколько позже петрографические исследования показали, что магнетитовые руды образовались гидротермально-метасоматическим путем после сиенитов, а сиениты прорывают породы мундыбашской свиты [4].

Таким образом, вулканогенно-осадочная гипотеза образования магнетитовых руд не подтвердилась, а породы мундыбашской свиты вообще не имеют отношения к рудному процессу, поскольку образовались раньше сиенитов. В итоге возникло очевидное противоречие в трактовке последовательности геологических процессов. Однако в окончательном отчете о разведке Таштагольского месторождения все геологические построения выполнены исходя именно из этой концепции.

Анализ фактических материалов показал, что туфогенные породы в мундыбашской свите пространственно сопряжены с интрузивными и строго соответствуют друг другу по составу. Например, туфы базальтовых порфиритов расположены только около габброидных тел, туфы трахитовых порфиритов – только в контакте с нормальными сиенитами, а туфы лейцитовых порфиритов – только около щелочных сиенитов, во всех случаях занимая окраинные части интрузий. Такая строгая закономерность прежде не отмечалась. Она указывает на генетическую связь перечисленных образований, в которой породы, прежде относившиеся к туфам, могут быть классифицированы как эруптивные (или автомагматические) брекчии. Ранее такой термин практически не применялся. Причины этого будут указаны дальше.

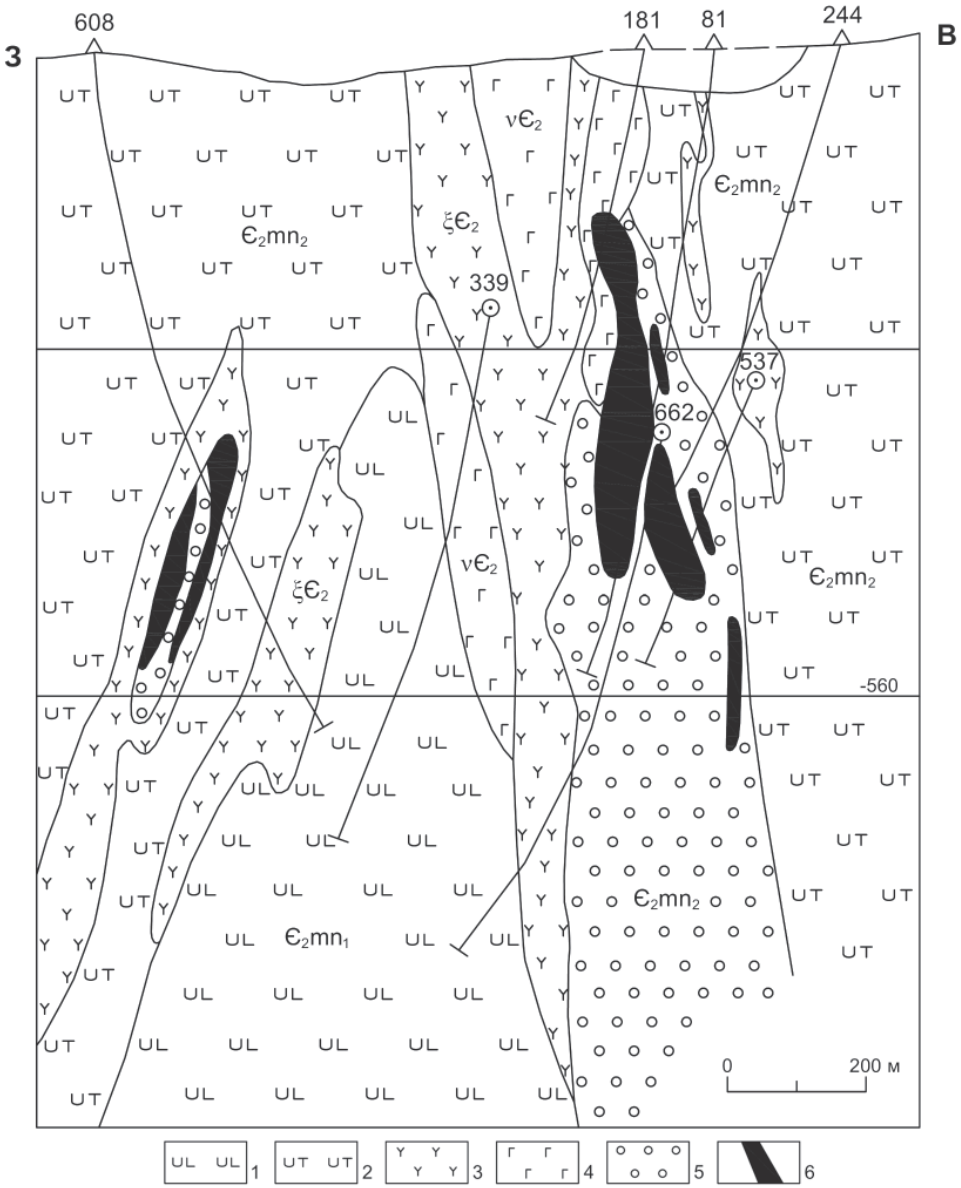
Наличие эруптивных брекчий в интрузивных массивах нужно считать неизбежным явлением, так как большинство массивов формировались в несколько этапов, когда последующие порции магмы отжимали предыдущие, дробили их и цементировали тем же веществом. В результате образовались породы, подобные туфам. В них часто видна зональность, присутствуют включения вмещающих отложений, и все это ошибочно принимается за вулканогенно-осадочные породы. Более того, последние порции магмы внедрялись в более ранние эруптивные брекчии, создавая впечатление, что они прорывают какие-то вмещающие породы. Эруптивные брекчии всегда отличаются от ядра массива, поскольку первыми контактируют с вмещающими породами, ассимилируются с ними, а ядро внедряется уже в свою родную среду.

То же произошло и на Таштагольском месторождении. В качестве примера приведем фрагмент разреза (см. рисунок), из которого видно, что туфы базальтовых порфиритов первой подсвиты слагают тело конусовидной формы с крутыми границами, уходящее на неопределенную глубину. Н. В. Голдаев полагал, что взаимоотношения первой пачки с подстилающими породами нам не известны, а возраст пачки строго не определен. Это с учетом формы залегания пород уже вызывает сомнения в их стратиграфической принадлежности. Среди отложений первой подсвиты встречаются тела габбро, по составу и физическим свойствам аналогичные туфам, но отличающиеся от них степенью кристалличности.

Таким образом, можно уверенно сказать, что туфы первой подсвиты участвуют в строении единого габброидного массива, формирующего ядро структуры месторождения и уходящего на неведомую глубину. Поэтому неизвестно, какие породы подстилают первую подсвиту. Значит, в исследуемом районе первую подсвиту следует исключить из состава мундыбашской свиты.

Аналогичная ситуация и со второй подсвитой мундыбашской свиты: сиениты окружены туфами трахитовых порфиров, а рудные тела залегают и в туфах, и в сиенитах. На участках Юго-Восточный и Глубокий туфы трахитовых порфиров, как основной компонент рудовмещающей подсвиты, вообще отсутствуют, а руды залегают в метасоматитах, скарнах, сиенитах на границе с габбро. Г. Л. Поспелов отмечал, что окраинные по отношению к сиенитовым телам альбититы являются иногда краевыми фациями интрузивов, а в некоторых случаях наблюдаются постепенные переходы от сиенитов к породам типа альбититов [3]. М. Ф. Данилова также указывала на переход с глубиной от порфировидных разностей к равномернозернистым сиенитам. По мнению Г. Л. Поспелова, в раннем периоде петрографических исследований в районе (1932–1933 гг.) некоторые геологи высказывали мнение, что местные эффузивные и интрузивные образования относятся к одному сложному комагматическому комплексу [3]. И действительно, многие скважины на восточном фланге месторождения после туфов вскрывают сиениты. Целый веер скважин из подземных камер участка Юго-Восточный, пройдя рудную зону и породы второй подсвиты, вскрывает тот же массив сиенитов.

Подводя итог, можно однозначно заключить, что выделение на Таштагольском месторождении вулканогенно-осадочных пород в составе мундыбашской свиты в качестве рудовмещающих для магнетитовых руд недостаточно обосновано и ошибочно, поскольку различные туфогенные породы свиты представляют собой периферийные части соответствующих интрузий. После внедрения сиенитов, занявших значительное пространство, из глубин поднялась базальтовая магма, обладающая огромным количеством железистых соединений. Кристаллизация этой магмы привела к формированию габброидного массива, вдоль контакта которого на постмагматической стадии проявился гидротермально-метасоматический процесс, который, в свою очередь, привел к образованию скарново-магнетитовых тел и залежей. В этом случае процесс рудообразования занимает свое хронологическое место и противоречия не возникают.



Фрагмент структурного разреза Таштагольского месторождения с сокращениями (сост. В. Г. Медведев, 1987)

Подсвиты мундыбашской свиты среднего кембрия: 1 – первая, 2 – вторая; 3 – сиениты; 4 – габбробазальты; 5 – скарны, метасоматиты; 6 – магнетитовые руды

Такой вывод вызывает необходимость составления новой геологической карты рудного поля Таштагольского месторождения, доизучения свит и границ интрузивных массивов, поскольку во многих районах вулканогенно-осадочные породы выделены без достаточных оснований. Необходимо обратить внимание на то, что интрузивные породы не могут иметь тот же возраст, что и вмещающие (прорываемые) осадочные и вулканогенно-осадочные образования. Между ними должен быть разрыв во времени, так как интрузии не могут одновременно формироваться на глубине и прорывать породы, которые образуются на поверхности.

Несмотря на огромные разведанные запасы руд, базальтовый очаг ядра месторождения не израсходовал весь потенциал и в массиве осталось еще очень много железа в виде вкрапленности магнетита, гнезд и линз руд, значит, имелась возможность образования еще одного месторождения. Благодаря скоплению руд и высоким магнитным свойствам пород магматического ядра структуры, над Таштагольским месторождением наблюдается уникальная магнитная аномалия интенсивностью в сотни тысяч гамм. Размеры аномалии в поперечнике составляют около 3 км, а на высоте она затухает на расстоянии почти 4 км от поверхности. Все это указывает, что и структура простирается на очень большую глубину и, возможно, представляет собой трубку взрыва.

При изучении железорудных месторождений большое внимание исследователи уделяли вмещающим породам, полагая, что они во многом определяют процесс рудообразования. Интересные результаты дает статистический анализ, позволяющий выяснить, какие разновидности из многих первичных пород обязательно присутствуют на железорудных месторождениях. Оказывается, что на одних

обязательно есть сиениты и габбро, а на других – диориты и гранодиориты. Это значит, что их очаги были источниками железистых соединений, тогда как породы в контакте могли быть разными. И действительно, разве магма и магматический процесс будут выбирать, какие породы прорывать, а какие нет и где накапливать рудное вещество? Главное, освободить очаг от избытка напряжения.

Согласно известному закону химии, энергетический результат реакции зависит от состояния исходных веществ, а не от пути, по которому шла эта реакция. Если в магматическом очаге созрели условия для процесса рудообразования, то он произойдет независимо от вмещающих пород. Если вмещающие породы окажут содействие, то он будет активнее и масштабнее, а если нет, то интрузия сама найдет благоприятную среду, в описываемых случаях – краевые эруптивные разности. Поэтому рудные залежи часто располагаются по окраинам интрузивных массивов. При этом процесс рудообразования связывается с контактовым метасоматозом, хотя сам контакт, как следует из приведенного выше, существенной роли не играет.

Почему на эруптивные породы не обращали должного внимания при геологических исследованиях? Прежде всего, авторитетные геологи решили, что эти породы являются вулканогенно-осадочными, а авторитет заставляет подчиняться, и это устраивало практиков. При геологической съемке вмещающие породы выделяли в стратиграфические свиты, что соответствовало требованиям унифицированной стратиграфо-геохронологической схемы. А прирост запасов не особо зависел от взглядов на геологическое строение, была бы руда в недрах. Правда, на Шерегешевском месторождении геофизические методы увязки рудных тел помогли изменить их рисовку и увеличить запасы руд. При этом, хотя структура месторождения была уточнена, вулканогенно-осадочная идея сохранилась.

Причина еще и в том, что само название «эруптивные брекчии» (или его синоним «интрузивные брекчии») не зависит от геологического процесса их образования. Они не внедряются как брекчии, а становятся ими на месте. Термин «эруптивные» (отжатые, выброшенные) в какой-то мере приемлем, если более точного не существует, а вот «брекчии» – это совсем не подходит. Брекчии, по определению, состоят из угловатых обломков разных пород и сцементированы другим веществом, а эруптивные породы однородные и сцементированы тем же веществом. По классификации размеры обломков в брекчиях от 10 мм и более, а в эруптивных породах кристаллы раздроблены, их размеры – первые миллиметры. Поэтому предлагается не употреблять понятие «брекчии», а назвать эти образования эруптивными гранитами, эруптивными диоритами, эруптивными сиенитами и т. д., что сразу указывает на их строение и принадлежность своим интрузиям.

В заключение нужно сказать, что Таштагольское месторождение, в котором интересное геологическое строение сочетается с высокой степенью изученности и уникальным набором геологических и геофизических материалов, представляет собой великолепный полигон для получения опыта и учебы и в то же время дает большой простор для дальнейших размышлений. Конечно, масштабные поиски железных руд в районе уже никогда не будут производиться, вся территория очень хорошо опоискована, геологи XX в. это сделали надежно. Но запасы руд могут быть увеличены за счет флангов и глубоких горизонтов разрабатываемых месторождений, а также за счет изменения кондиций. Возможно, в будущем возникнет интерес к цветным и редким металлам, которым уделялось мало внимания. Вот в это время и потребуется доизучение и составление новой геологической карты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Асанов Ю. А., Батов Н. А.** Таштагольское железорудное месторождение // Минерально-сырьевая база КМК. – Томск, 1933. – С. 13–16.
2. **Бондарец В. П., Монкевич Н. В.** Таштагольское месторождение // Главнейшие железорудные месторождения Сибири. – Новосибирск, 1970. – С. 112–118.
3. **Поспелов Г. Л.** Кондомская группа железорудных месторождений // Железорудные месторождения Алтае-Саянской горной области. Т. 1, кн. 2. – М., 1959. – С. 235–254.
4. **Тараймович М. П., Селиверстова М. И.** Таштагольское месторождение // Железорудные месторождения Сибири. – Новосибирск, 1981. – С. 153–157.

REFERENCES

1. Asanov Yu.A., Batov N. A. *Tashtagol'skoe zhelezorudnoe mestorozhdenie* [Tashtagol Iron-Ore Deposit]. *Mineral'no-syr'evaya baza KMK* [Mineral and raw material base of NISP]. Tomsk, 1933, pp. 13–16. (In Russ.).
2. Bondarets V. P., Monkevich N. V. [Tashtagol Deposit]. *Glavneyshie zhelezorudnye mestorozhdeniya Sibiri* [The main iron ore deposits of Siberia]. Novosibirsk, 1970, pp. 12–118. (In Russ.).
3. Pospelov G. L. [Kondoma Group of iron ore deposits]. *Zhelezorudnye mestorozhdeniya Altae-Sayanskoy gornoy oblast*i [Iron-ore deposits of the Altai-Sayan mountain region]. Moscow, 1959, vol. 1, book 2, pp. 235–254. (In Russ.).
4. Taraymovich M. P., Seliverstova M. I. *Tashtagol'skoe mestorozhdenie* [Tashtagol Deposit]. *Zhelezorudnye mestorozhdeniya Sibiri* [Iron-ore deposits of Siberia]. Novosibirsk, 1981, pp. 53–157. (In Russ.).

© Ф. В. Кирилловский, 2018

УДК 550.834.04/.05(571.5)

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова, Е. В. Мосягин, В. Н. Беспечный

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

№ 2(34) ♦ 2018

Рассмотрены особенности строения разреза Восточно-Сибирского региона, которые влияют на эффективность и надежность результативных материалов сейсморазведочных исследований. Проанализированы различные параметры системы наблюдений и их влияние на волновое поле сейсмических разрезов. Как показывает многолетний опыт, отсутствие геологической информации об объектах исследования или ее недоучет резко снижают эффективность обработки. Последнее время все чаще используется термин «интерпретационная обработка», особенно когда необходимо построить скоростную модель на этапе обработки, что является непростым процессом. В сложных сейсмогеологических условиях для построения достоверных геологических моделей монометодное использование сейсморазведки не всегда эффективно и требуется привлечение комплексных исследований, что показано в статье на ряде примеров.

Ключевые слова: *Восточная Сибирь, сейсмический разрез, волновое поле, комплексирование, обработка, сейсморазведочные работы, система наблюдений.*

SOME METHODICAL PECULIARITIES OF THE GEOPHYSICAL COMPLEX APPLICATION IN THE STUDY OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE EAST SIBERIAN REGION

M. Yu. Smirnov, G. D. Ukhlova, E. V. Mosyagin, V. N. Bespechny

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

The structural features of the section of the East Siberian region that affect the efficiency and reliability of effective seismic exploration materials are considered. Various parameters of the observation system and their influence on the wave field of seismic sections are analised. As the long time experience shows, the lack of geological information about targets under investigation or its underestimation dramatically reduce the efficiency of processing. Recently, the term “interpretation processing” is increasingly emerging, especially when it is necessary to build a velocity model at the processing stage, which is a complex process. In the complex seismic-geological conditions for the construction of reliable geological models the monomethod use of seismic prospecting is not always effective, and it is required to involve complex studies, which is shown in the article on a number of examples.

Keywords: *East Siberia, seismic section, wave field, complexation, processing, seismic exploration, observation system.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-65-76

Территория Восточной Сибири характеризуется сложнейшими сейсмогеологическими условиями. Целый ряд факторов отрицательно влияет на эффективность сейсморазведочных работ и снижает точность прогноза при поиске и разведке залежей углеводородов:

1. Резко расчлененный рельеф, что приводит к усложнению графа обработки с использованием дополнительного «плавающего» уровня приведения на этапе учета статических и кинематических поправок, а также миграции до суммирования.

2. Появление на дневной поверхности нижнетриасовых грубообломочных туфовых образований, с которыми связано интенсивное рассеивание и уменьшение мощности сейсмического сигнала при возбуждении, а также рассеивание отраженных волн в верхней части разреза.

3. В целом очень сложное мелкоклавишное строение ВЧР, что приводит к получению низкочастотных разрезов и к ошибкам в структурных построениях, не позволяющим решать поставленные геологические задачи.

4. Высокоскоростной разрез, что, в первую очередь, провоцирует появление фатальных ошибок в скоростной модели.

5. Наличие контрастных границ, которые формируются кровлями и подошвами соляных пластов, образующих частично-кратные волны, что приводит к ошибкам в стратификации разреза. Следует отметить, что невыдержанность свойств этих границ и их большое количество (до 10 и более пластов соли в разрезе нижнего кембрия) практически сводят на нет традиционные методы борьбы с кратными волнами при цифровой обработке материалов сейсморазведки.

6. Высокая латеральная неоднородность отложений, что приводит к изменению акустических свойств и, как следствие, к изменению волновой картины: отсутствует фазовая корреляция отражающих горизонтов.

7. Длительно существующие эрозионные поверхности несогласия, которые приводят к усложнению волновой картины, отсутствию фазовой корреляции отражающих горизонтов.

8. Блоковое строение и наличие дизъюнктивных нарушений с различной амплитудой смещения по вертикали, что ведет к ошибкам в стратификации разреза и в структурных построениях, образованию «немых» зон на сейсмических разрезах.

9. Интрузивные тела, особенно трапповые силлы по всему разрезу, вследствие которых возникают ошибки в скоростных моделях и в стратификации толщ.

10. Различная степень метаморфизма пород, например, в продуктивных рифейских отложениях: часто метаморфизованный комплекс отложений становится сейсмически «прозрачным» и др.

Особенности сейсмического волнового поля Восточной Сибири описывали многие исследователи, но до сих пор не существует единой точки зрения на причину ухудшения информативности разрезов [1–3 и мн. др.]. Эти вопросы рассмотрены по результатам опытно-методических сейсморазведочных исследований в огромном количестве фондовых материалов, посвященных совершенствованию их эффективности в регионе (О. К. Кондратьев, В. Г. Сибгатулин, В. И. Казаис, Б. И. Музыченко, В. А. Богдан, А. С. Ефимов, И. В. Корсунов, М. М. Мандельбаум, В. Д. Клыкова, А. А. Егошин, С. Б. Мячев и др.).

Поисковая методика для локальных нефтеперспективных объектов, основанная на выделении антиклинальных перегибов в Восточной Сибири, практически не работает, так как точность прогноза глубин залегания пластов часто невысока – ниже амплитуды реальных локальных поднятий. Распределение свойств коллекторов и покрышек устанавливается неоднозначно. Коэффициент успешности бурения, несмотря на все передовые технологии, по-прежнему остается низким, а фактор риска – высоким. Пример разреза через Куюмбинское газонефтяное месторождение, иллюстрирующий основные проблемные особенности геологического строения для сейсморазведки, приведен на рис. 1.

К причинам, осложняющим проведение нефтепоисковых сейсморазведочных работ, следует добавить индивидуальность их набора для отдельных площадей и районов, поэтому при работах в Восточной Сибири необходим анализ эффективности применяемых методик как полевых, так и используемых при обработке. Эффективность нефтегазопоисковых работ во многом определяется результатами выполненных исследований и уникальностью каждого из рассматриваемых объектов.

Эффективность методик при проведении сейсморазведочных работ

В настоящее время совершенствование методики сейсморазведочных работ, внедрение новых технологий и разработок происходит в основном на поисково-разведочном этапе и в модификации 3D. Например, у недропользователей приобретают популярность такие современные методы:

– высокоразрешающая технология UniQ (WGSchlumberger), при которой используется от нескольких десятков до 200 и более активных каналов, регистрирующих сейсмический сигнал с любой необходимой плотностью, что позволяет уменьшить пространственный шаг дискретизации и обеспечивает эффективное подавление помех при обработке;

– широкоазимутальная сейсморазведка, которая дает возможность повысить точность структурных построений, а также определить направление трещиноватости, подавить помехи, обусловленные недоучетом трехмерной природы объектов, тем самым, повысить точность оценок динамических параметров и мн. др.

Современные методы дают огромный прирост более точной и детальной информации об изучаемом объекте, но в то же время вскрывают многие не до конца решенные в сейсморазведке проблемы, а их решение требует дальнейшего развития технологий, алгоритмов и программного обеспечения.

Методика проведения региональных сейсморазведочных работ часто отстает, находится на технологическом уровне конца прошлого века, что необходимо исправлять. Существует острая необходимость получения информативных сейсмических разрезов в таких сложных, но весьма перспективных районах Восточной Сибири, как Предпатомское нагорье, Сурингдаконский выступ (особенно районы Таначинского и Моктаконского нефтегазопроявлений в его пределах), северо-западные склоны Непско-Ботуобинской антеклизы (особенно в Аргишско-Чуньской нефтегазоперспективной зоне).

В 2012–2014 гг. Богучанской геофизической экспедицией проводились опытно-методические работы (Д. В. Машенькин) по совершенствованию методики полевых региональных сейсморазведочных исследований на 50-километровом профиле в восточной части южного борта Курейской синеклизы. Предполагалось оценить эффективность применения различных технологий возбуждения сигнала – взрывной и невзрывной (импульсные источники КЭМ-4).

Основные параметры системы наблюдений при проведении полевых работ: шаг ПП = 12,5 м; шаг ПВ = 25 м; длина расстановки 16 км; кратность 320.

В задачи обработки входило в том числе исследование влияния параметров системы наблюдений на качество получаемого временного разреза. Для этого исходные полевые сейсмограммы по данным взрывного и невзрывного источников были обработаны с использованием одного и того же графа обработки (рис. 2). Применяемые окончательные статические и кинематические поправки были подобраны по данным взрывного источника.

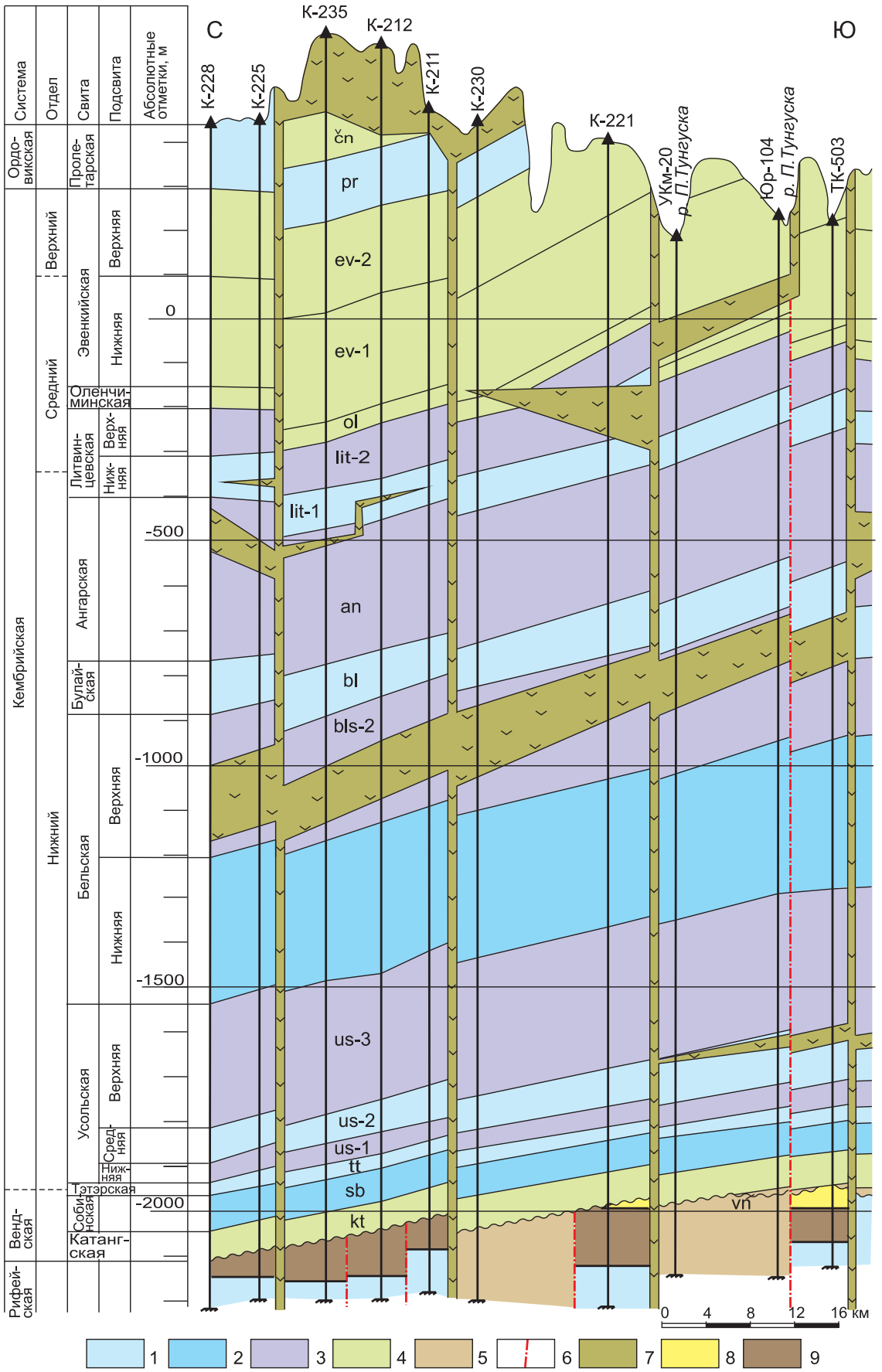


Рис. 1. Субмеридиональный разрез Куюмбинского месторождения (сост. Н. В. Мельников, СНИИГГиМС)

Толщи: 1 – карбонатные, 2 – сульфатные, 3 – соленосные, 4 – терригенные, 5 – глинистые; 6 – разрывные нарушения; 7 – долериты; 8 – газ; 9 – нефть; скважины: К – Куюмбинские, Юр – Юрубченская, УКм – Усть-Камовская, ТК – Терско-Камовская

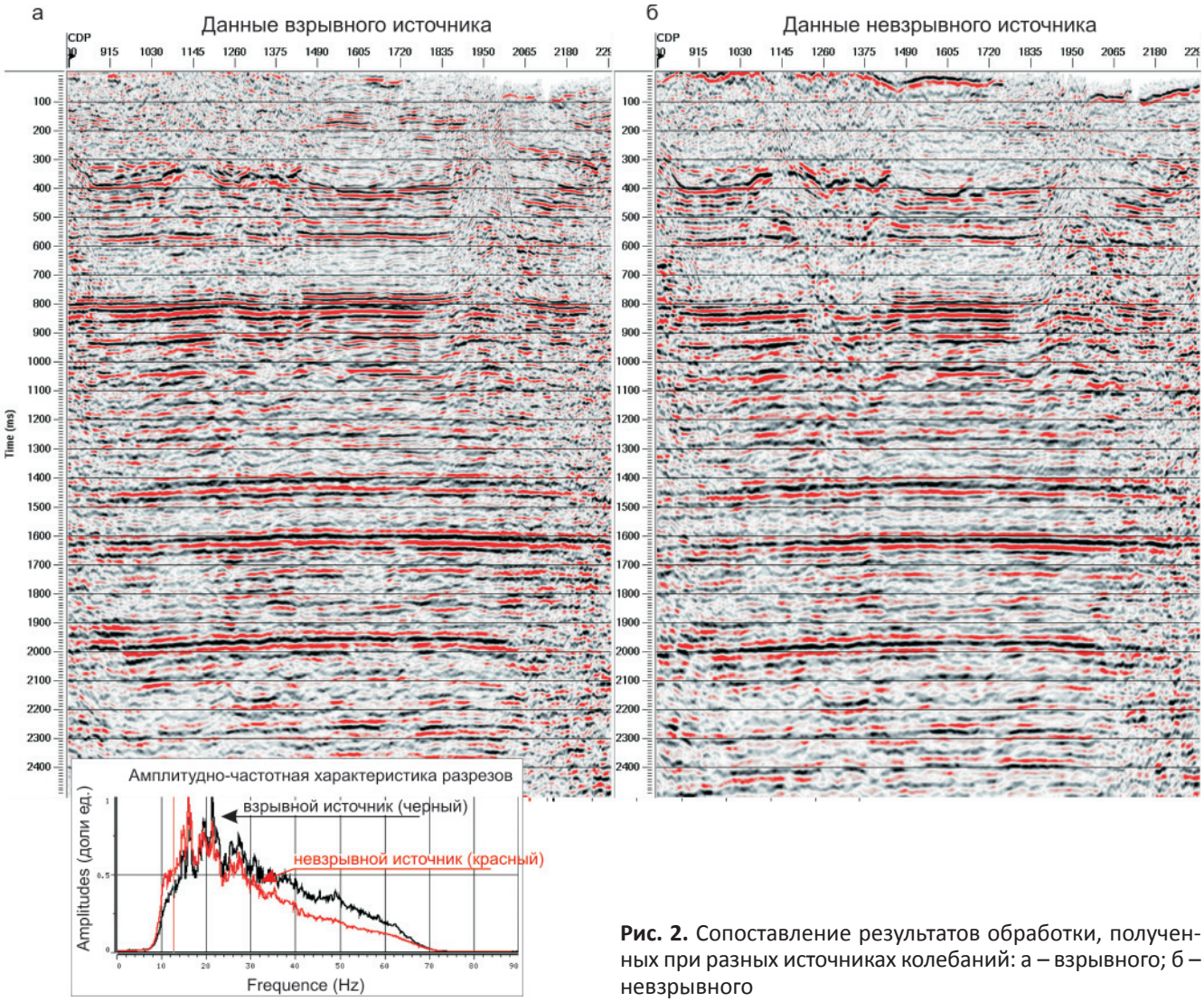


Рис. 2. Сопоставление результатов обработки, полученных при разных источниках колебаний: а – взрывного; б – невзрывного

Сравнивая спектральные характеристики окончательных разрезов можно сделать вывод, что данные взрывного источника имеют бóльшую амплитуду на высоких частотах, что хорошо заметно и по волновой картине в верхней части разреза (ВЧР). При этом в интервале разреза, соответствующем венд-кембрийским отложениям, волновые картины обоих источников сопоставимы.

Для анализа влияния параметров системы наблюдений на качество временного разреза из исходных данных были сделаны выборки (см. таблицу).

Для оценки влияния шага ПВ/ПП использовались три первые выборки. По ним были построены разрезы, которые анализировались как визуально, так и количественно путем расчета функции взаимной корреляции (ФВК) пар соседних трасс в окне 300–2500 мс. Получилось, что энергия полезного сигнала закономерно падает с возрастанием шага по ПП или ПВ. Особенно ярко это проявляется в сложных зонах, что подтверждает и ряд атрибутов, рассчитанных по данным разрезам в окне целевых горизонтов.

Набор параметров для анализа их влияния на качество временного разреза

ПП, м	ПВ, м	Кратность	Расстановка, км
12,5	25	320	16
25	25	160	16
25	50	80	16
12,5	25	240	12
12,5	25	200	10
12,5	25	160	8
25	25	80	8

Для анализа выборок на основе ограничения удалений были построены разрезы, которые сравнивались между собой визуально и количественно (рис. 3). Все они получены с применением выдержанных регулировок и нормировок, в том числе с использованием АРУ в окне 500 мс. Результаты, полученные при длине расстановки 16 и 12 км практически совпадают, уменьшение длины расстановки ведет к частичной потере прослеживаемости отражающих горизонтов на малоинформативных участках.

Проанализировав все имеющиеся данные от взрывного и невзрывного источников колебаний и временные разрезы по различным выборкам, мы можем сделать следующие выводы.

1. Данные от взрывного источника позволили получить более высокочастотный разрез, что ил-

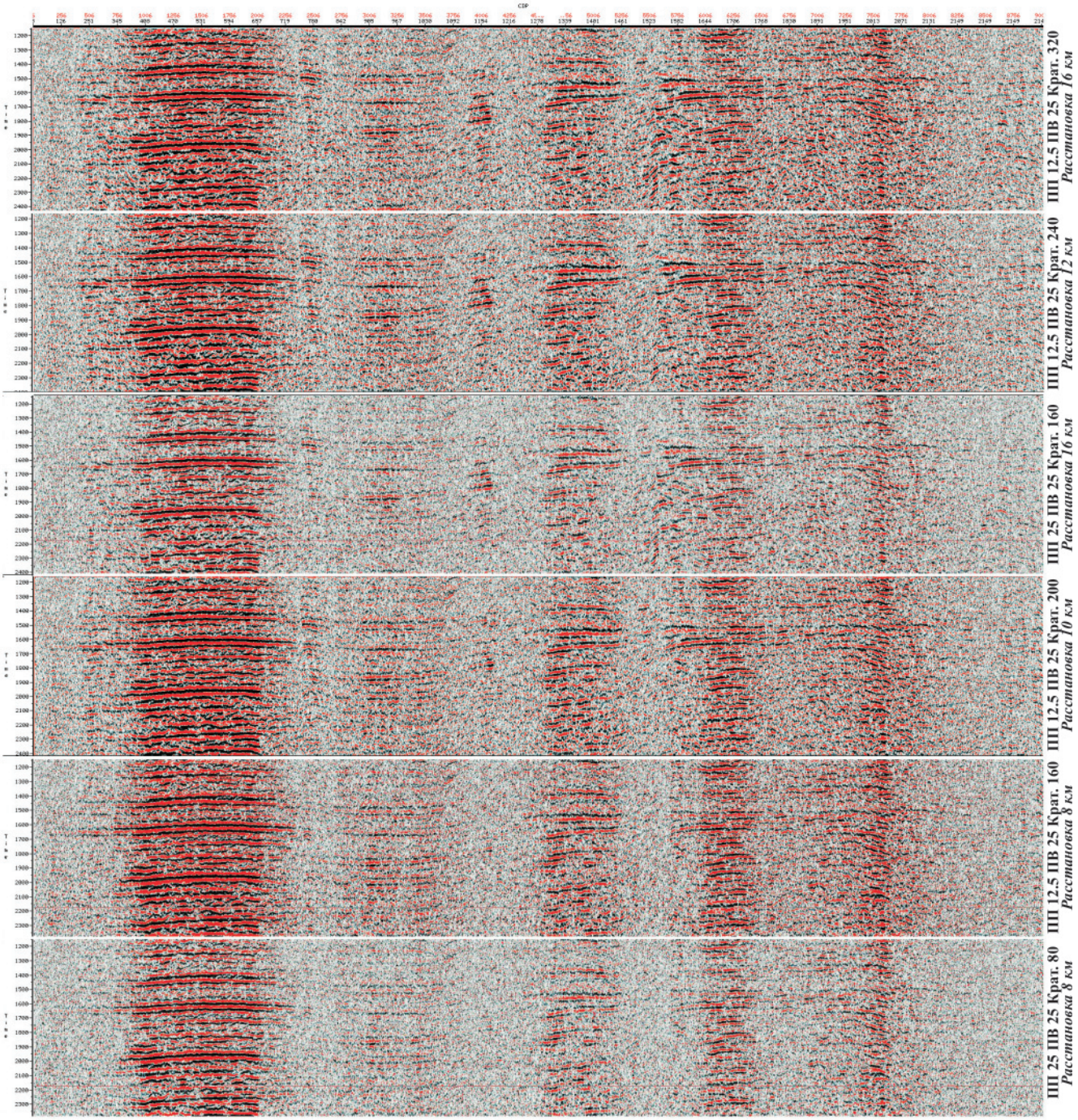


Рис. 3. Фрагменты выборок на основе разных параметров системы наблюдения

люстрируется и визуально по характеру волнового поля, и по амплитудно-частотным характеристикам. Причина пониженной частоты данных невзрывного источника – вынужденное группирование на базе пяти источников КЭМ-4 с большим количеством накоплений для достижения требуемого уровня энергии.

2. Увеличение шага между пунктами приема существенно влияет на энергию сигнала и на соотношение сигнал/помеха на суммированных данных. Это особенно критично на участках с низкой информативностью, формируемых в первую очередь мелкоблоковостью ВЧР. Большой шаг по пунктам приема также не лучшим образом сказывается на коррекции статических и кинематических поправок и подавлении помех по сейсмограммам.

3. Ограничение по удалениям источник – приемник до 6 км при шаге ПП 12,5 м и ПВ 25 м (961 канал, кратность 240) дало результат, сравнимый с исходным разрезом (ПП 12,5 м, ПВ 25 м, удаление источник – приемник 8 км, кратность 320). Это связано с тем, что данные на удалениях 6–8 км практически не содержат статистически значимого сигнала. Кроме того, по результатам нашего анализа можно отметить, что первые вступления преломленных волн на таких удалениях малоинформативны, а длина расстановки свыше 12 км неэффективна при борьбе с кратными волнами.

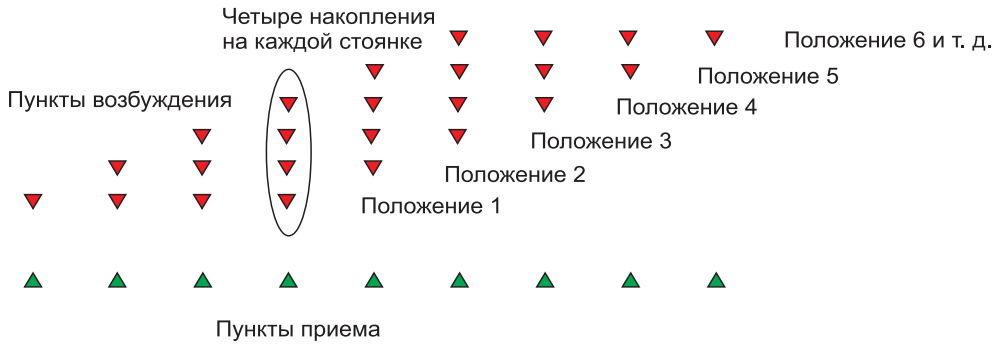


Рис. 4. Схема наблюдений при методике «скользящего» возбуждения

Опытно-методические работы показывают, что уменьшение шага между ПП и ПВ приводит к повышению информативности сейсмического материала. В то же время уменьшение шага между ПВ приводит к значительному увеличению стоимости работ (увеличение количества наблюдений в разы по сравнению со стандартной методикой). Мы предлагаем на сложных участках опробовать методику «скользящего возбуждения», суть которой заключается в следующем.

1. Шаг между ПП должен быть минимально возможным. Необходимо исключить применение больших баз группирования сеймоприемников (не больше шага между ПП). Желательно применение лабораторного группирования.

2. Возбуждение осуществляется так: группа из N источников делает одно воздействие и смещается на один источник и т. д. (рис. 4) При этом записывается каждое воздействие. Шаг между точками ПВ может быть равен шагу ПП. Таким образом, на каждой точке будет N воздействий. В отличие от стандартной методики, при обработке полученных материалов появляется возможность гибкого группирования источников для оптимального шага с обработкой каждого накопления перед суммированием.

Хорошо известно, что качество получаемых данных зависит от плотности съемки. Высокая плотность позволяет избежать алиасинга не только сигнала, но и волн-помех, что положительно сказывается на проведении процедур по их подавлению. Кроме того, хорошая пространственная дискретизация преломленных волн важна для надежной корреляции первых вступлений и расчета статических поправок [4]. При сопоставимых со стандартной методикой экономических затратах предлагаемая нами позволяет не только увеличить плотность съемки, но и осуществить лабораторное группирование отдельных накоплений в процессе обработки с применением любой желаемой фильтрации.

Эффективность методик при проведении обработки сейсморазведочных данных

Сейсмогеологические условия Восточной Сибири значительно отличаются от таковых других регионов России. В существующих условиях многие процедуры обработки не дают ожидаемого положительного эффекта. На практике для получения кондиционного разреза необходимы гораздо бóльшие, чем в других регионах, усилия по подбору оптимальных процедур и их параметров на каждом этапе обработки.

Определенные проблемы возникают практически на каждом этапе обработки. В условиях резкого латерального непостоянства приповерхностных условий и при сильно зашумленном сейсмическом материале алгоритмы поверхностно-согласованной деконволюции не могут корректно оценить импульс и построить правильный обратный фильтр. В результате после деконволюции может оставаться существенная латеральная изменчивость формы сигнала, которая связана с не до конца скомпенсированным влиянием ВЧР.

Сейсмический материал характеризуется резким изменением поверхностных сейсмогеологических условий, что, в свою очередь, приводит к резкой смене волновой картины на получаемых временны́х разрезах. Хороший результат по устранению влияния поверхностных условий на динамику волнового поля был достигнут благодаря комбинированию процедуры деконволюции и спектрального отбеливания на определенных этапах обработки.

В большинстве районов Восточной Сибири существуют огромные проблемы с учетом ВЧР и способом расчета длинно- и среднепериодных статических поправок. Сложное, резко неоднородное блоковое строение ВЧР, характеризующееся зонами развития трапповых формаций и мощных туфогенных отложений, отрицательное влияет на качество материала. Помимо потери энергии и изменения формы сейсмического импульса, такое строение ВЧР ведет к возникновени существенных временных задержек. Мощность ВЧР до границы стабилизации скоростей в некоторых регионах может достигать 700–1000 м и даже более (Сурингдаконский выступ). Основным источником информации о ВЧР служат преломленные и частично рефрагированные волны. Получив приближенную скоростную модель по преломленным волнам и применив ее для замещения низкоскоростного слоя в ВЧР, можно компенсировать скоростные аномалии, вычисляя соответствующие временные задержки. Однако МПП имеет ряд ограничений и получаемые модели часто оказываются достаточно далеки от реального строения изучаемой толщи.

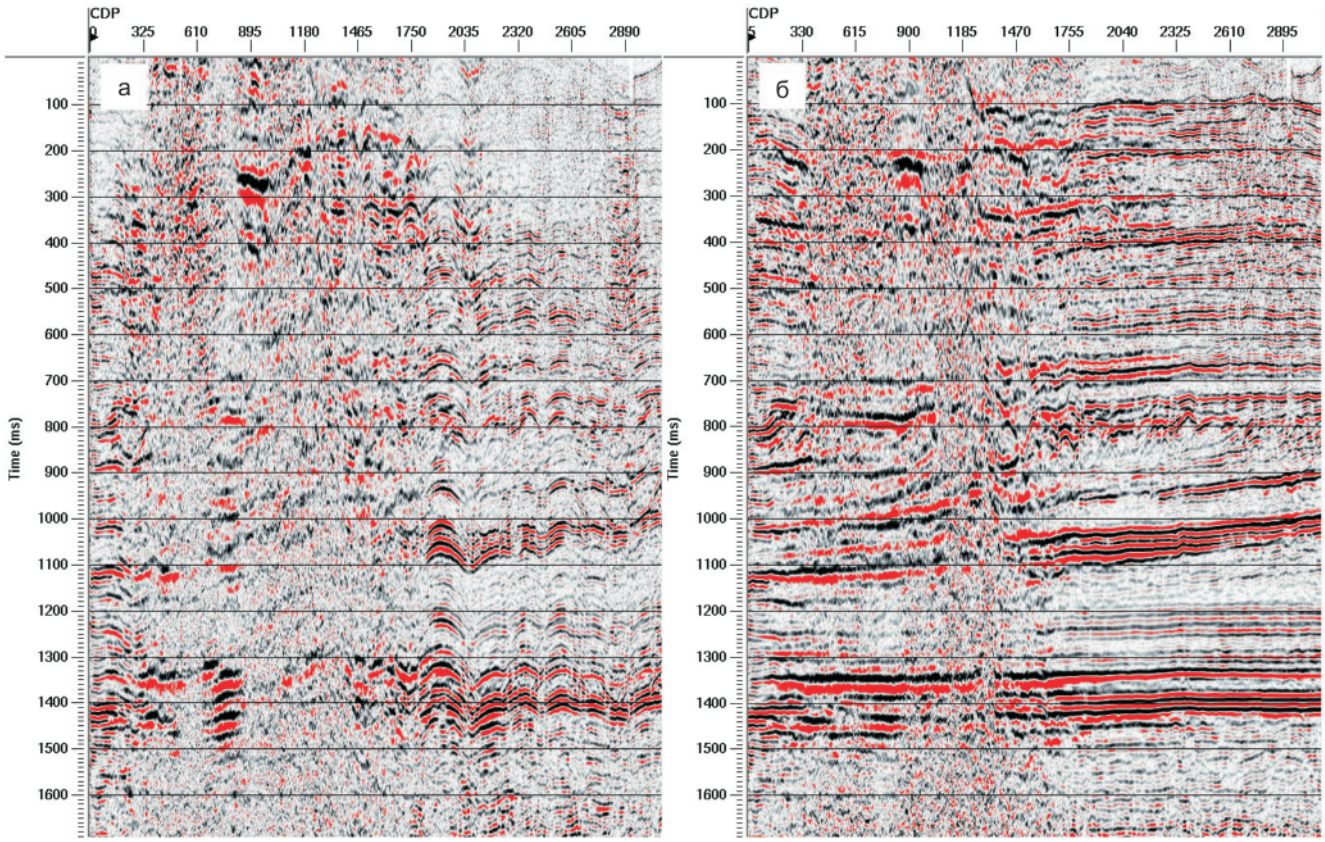


Рис. 5. Временной разрез до (а) и после (б) автоматической коррекции статических и кинематических поправок

На рис. 5, а приведен фрагмент временно́го разреза после учета статических поправок с использованием первых вступлений преломленных волн. Несмотря на то что первые вступления были прослежены в ручном режиме с последующим подбором параметров модели, очевидна явная недостаточная коррекция по части короткопериодных статических поправок. На рис. 5, б показан результат специального многоитеративного подхода к автоматической коррекции средне- и короткопериодных статических поправок, чередующихся с анализом скоростей суммирования. Благодаря комбинированию различных алгоритмов автоматической коррекции, удалось восстановить прослеживаемость горизонтов даже в условиях очень сильных искажений, вызванных влиянием ВЧР. Однако для достижения такого результата требуются существенные временны́е затраты на подбор параметров автоматической коррекции и интерактивный анализ скоростей.

В ряде случаев недоучтенная короткопериодная составляющая статических поправок приводит к практически полной потере видимости перспективного объекта (рис. 6).

Различные тестовые (конкурсные) обработки профилей показывают отсутствие геологической информации об объектах исследования, резко снижающее эффективность обработки, что подтверждается опытом многолетней работы. Поэтому не рекомендуется разделять обработку и интерпретацию сейсмических данных в таких сложных регионах, как Восточная Сибирь. В последнее время все чаще используется термин «интерпретационная обработка», особенно при необходимости построения скоростной модели на этапе обработки, а это сложный многоитеративный процесс.

В 2016 г. среди 17 организаций был проведен конкурс по обработке сейсмических данных. Его целью была оценка того, насколько опыт работы и знание геологии в регионе влияет на эффективность обработки данных. Было выбрано пять профилей в различных частях Сибирской платформы. По результатам проведенного конкурса можно сделать вывод: на большей части Восточной Сибири привычные для простых сейсмогеологических условий методики и подходы к обработке данных оказываются несостоятельными. На рис. 7 приведено сопоставление результатов обработки в шести организациях, не постеснявшихся показать итоговые материалы.

Эффективность комплексирования различных методов

В сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири для построения достоверных геологических моделей монометодное использование сейсморазведики не всегда эффективно, требуются комплексные исследования: детальные исследования керна скважин параллельно с наземными и скважинными геофизическими методами, совместное использование наземных и аэрогеофизических методов.

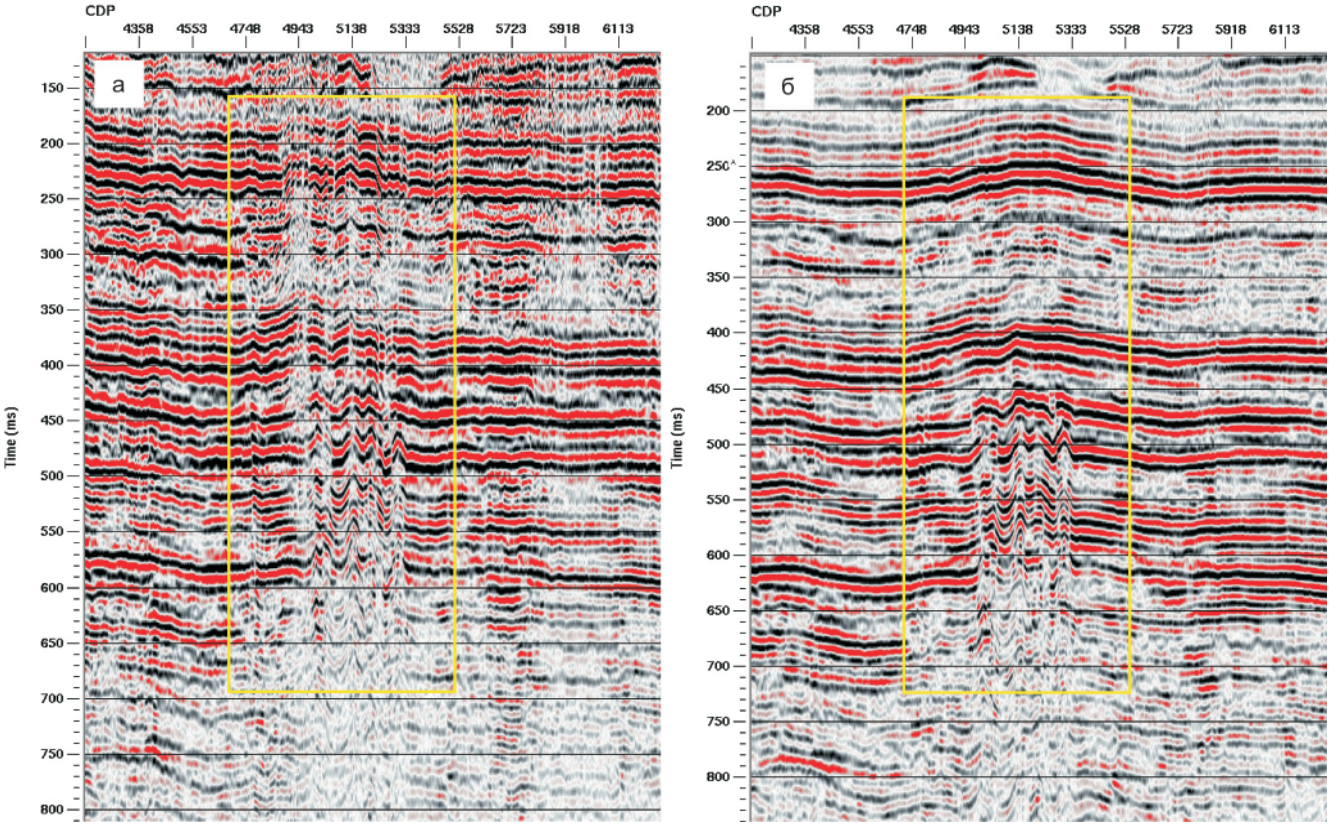


Рис. 6. Сравнение результатов автоматической коррекции статических поправок для Непско-Ботуобинской антеклизы: а – обработка 2007 г. (сторонняя организация), б – обработка 2016 г. (СНИИГГиМС)

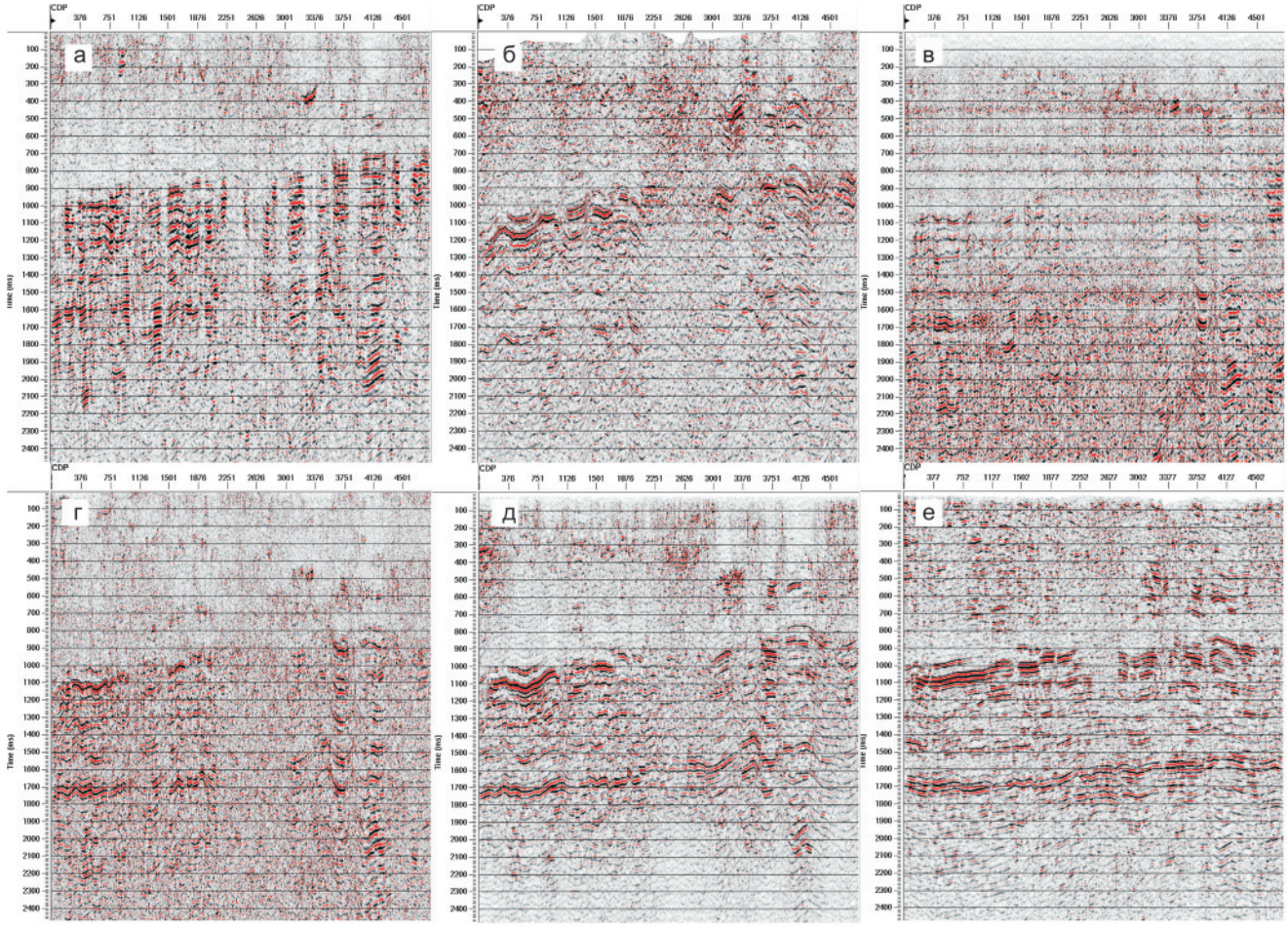


Рис. 7. Результаты тестовой обработки профиля в зоне сочленения Байкитской антеклизы и Курейской синеклизы: а–д – обработка в сторонних организациях, е – обработка в СНИИГГиМС

Комплексирование геофизических данных поможет сейсморазведке в построении моделей статических и кинематических поправок и позволит получать дополнительную информацию о геологической среде.

В стандарт интерпретации данных сейсморазведки на поисковом и разведочном этапах входят:

– комплексирование с ВСП, в том числе и многокомпонентным (для осуществления детальной стратиграфической привязки отражающих горизонтов и построения более достоверной модели);

– расчет сейсмических разрезов в глубинном масштабе (до суммирования), т. е. построение глубинно-скоростной модели с привлечением различных геологических данных на этапе обработки;

– петрофизическая обработка данных ГИС с анализом кернового материала и построением зависимостей керн – ГИС, ГИС – ГИС;

– сейсмофациальный анализ с учетом фаций и седиментологического описания керна;

– петрофизическое обоснование проведения различных видов инверсий сейсмических разрезов;

– инверсионные преобразования сейсмических разрезов (акустическая инверсия, инверсия с использованием алгоритмов нейронных сетей и расчетом разрезов αПС, jГК и др.);

– синхронная инверсия по сейсмограммам (с расчетом кубов скорости P- и S-волн, соотношения V_p/V_s, P- и S-импедансов, плотности) и стохастическая инверсия;

– расчет эффективной мощности пластов, пористости, проницаемости;

– прогноз флюидонасыщения, открытых и закрытых трещин с учетом данных электроразведки.

На этапе региональных работ такой детальный анализ в полной мере невозможен. Но практически на всех участках региональных ГРР выполняется комплексирование сейсморазведочных, электроразведочных и геохимических работ, иногда еще гравиметрические и аэрогеофизические исследования. Тем не менее результаты такого комплексирования трудно оценить, поскольку чаще всего результаты по разным видам исследований распределены между разными организациями-исполнителями. В итоге они представлены отдельными книгами, наборами графических материалов и не связаны между собой. При будущих геолого-разведочных работах за счет федерального бюджета следует более тщательно подходить не только к выбору методов комплексирования, но и к форме и требованиям представления результатов работ.

При проведении сейсмических работ целесообразно закладывать полный комплекс исследований по профилям:

– сейсморазведка;

– высокоточная гравиметрическая съемка;

– электроразведка (ЗСБ, МЗСБ и МТЗ);

– геохимическое опробование;

– геологические маршруты при наличии на площади обнажений.

Для повышения геологической эффективности геофизических исследований в состав комплекса рекомендуется включать аэроэлектромагнитные зондирования, направленные на изучение геоэлектрического разреза осадочного чехла, а в совокупности с наземной электроразведкой – и кристаллического фундамента на глубине от первых десятков метров до первых километров.

По данным Г. М. Тригубовича и др. (2016), участки возможного развития проводящих осадков и зоны резкого погружения фундамента могут быть изучены магнитотеллурическими зондированиями (МТЗ). Наблюдения рекомендуется проводить, как и для опорных сейсмических профилей, в полосе частот $3\cdot10^{2}$–$3\cdot10^{-4}$ Гц с шагом по профилю 2 км.

Эффективность использования электромагнитных зондирований обусловлена независимостью качества электроразведочных материалов от поверхностных сейсмогеологических условий, что позволяет почти всегда получать интерпретируемый материал. Из-за своего значительного удельного электрического сопротивления кристаллический фундамент, в отсутствие структурного этажа (рифейской толщи), практически всегда является опорным геоэлектрическим горизонтом, надежно картируемым электромагнитными зондированиями. Важнейшая характеристика последних – высокая чувствительность к наличию коллекторов, которые в силу особенностей геологического строения Сибирской платформы являются основным элементом, определяющим перспективы нефтегазоносности изучаемого разреза. Электроразведочные данные в комплексе с сейсморазведочными позволяют (рис. 8):

– уточнить модель ВЧР (на геоэлектрических разрезах хорошо отображается блоковое строение);

– прогнозировать характеристики разломов (проводящие, экранирующие);

– картировать зоны распространения траппов, зоны засолонения;

– прогнозировать области улучшенных коллекторов, к которым в условиях Сибирской платформы относят резервуары с различными типами пустотности (так как эти резервуары в разной степени заполнены солеными водами, они обладают очень низким сопротивлением и, соответственно, контрастно проявляются в геоэлектрических полях).

Применительно к задаче изучения ВЧР малоглубинные электромагнитные зондирования весьма эффективны при прогнозе распространения зон многолетней мерзлоты, наличия водоносных горизонтов, неглубоко залегающих трапповых тел, разрывных нарушений. Детально изучить геоэлектрическую структуру ВЧР можно до глубины 300 м.

На рис. 9 приведен пример модели строения верхней части разреза (от дневной поверхности до

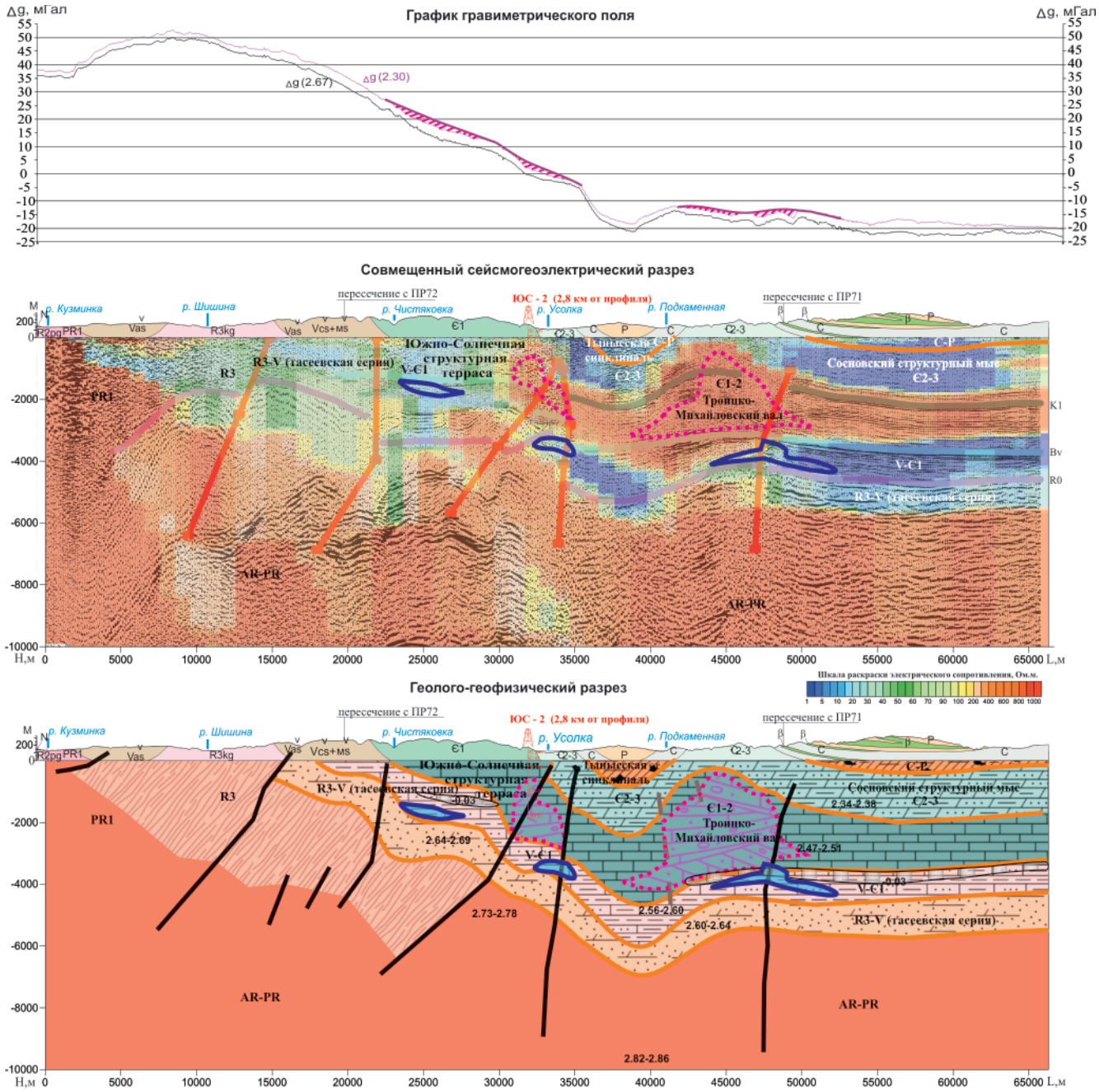


Рис. 8. Геолого-геофизический разрез, построенный по комплексу параметров (данные Е. Н. Махнач, В. Н. Беспечного и др., 2014)

глубины 300–400 м) с привлечением данных комплексной аэрогеофизической съемки (высокоточная магниторазведка, аэроэлектроразведка МПП, гамма-спектрометрия); высокоточной гравиразведки; наземной электроразведки ЗСБ; сейсморазведки; материалов бурения.

Таким образом, можно утверждать, что перспективы развития изучений сложнопостроенных отложений Восточной Сибири – за комплексированием методов.

Основные выводы

1. В сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири только высокоплотные методики дают надежду на получение информативных сейсмических разрезов.

2. Ограничение кратности за счет уменьшения длины расстановки предпочтительнее, чем ограничение кратности за счет увеличения шага ПВ/ПП.

3. Разуплотнение шага ПВ/ПП ведет к фатальному падению соотношения сигнал/помеха и гарантированной неудаче в процессе подбора высокочастотных статических поправок и кинематическом анализе.

Сопутствующие работы мало отличаются от таковых при стандартных работах 2D, и при этом на них приходится значительная часть затрат. Стоимость высокоплотной сейсморазведки вполне сопоставима со стоимостью стандартной. По разным оценкам, в зависимости от района удорожание составляет от 20 до 40 % за каждое удвоение кратно-

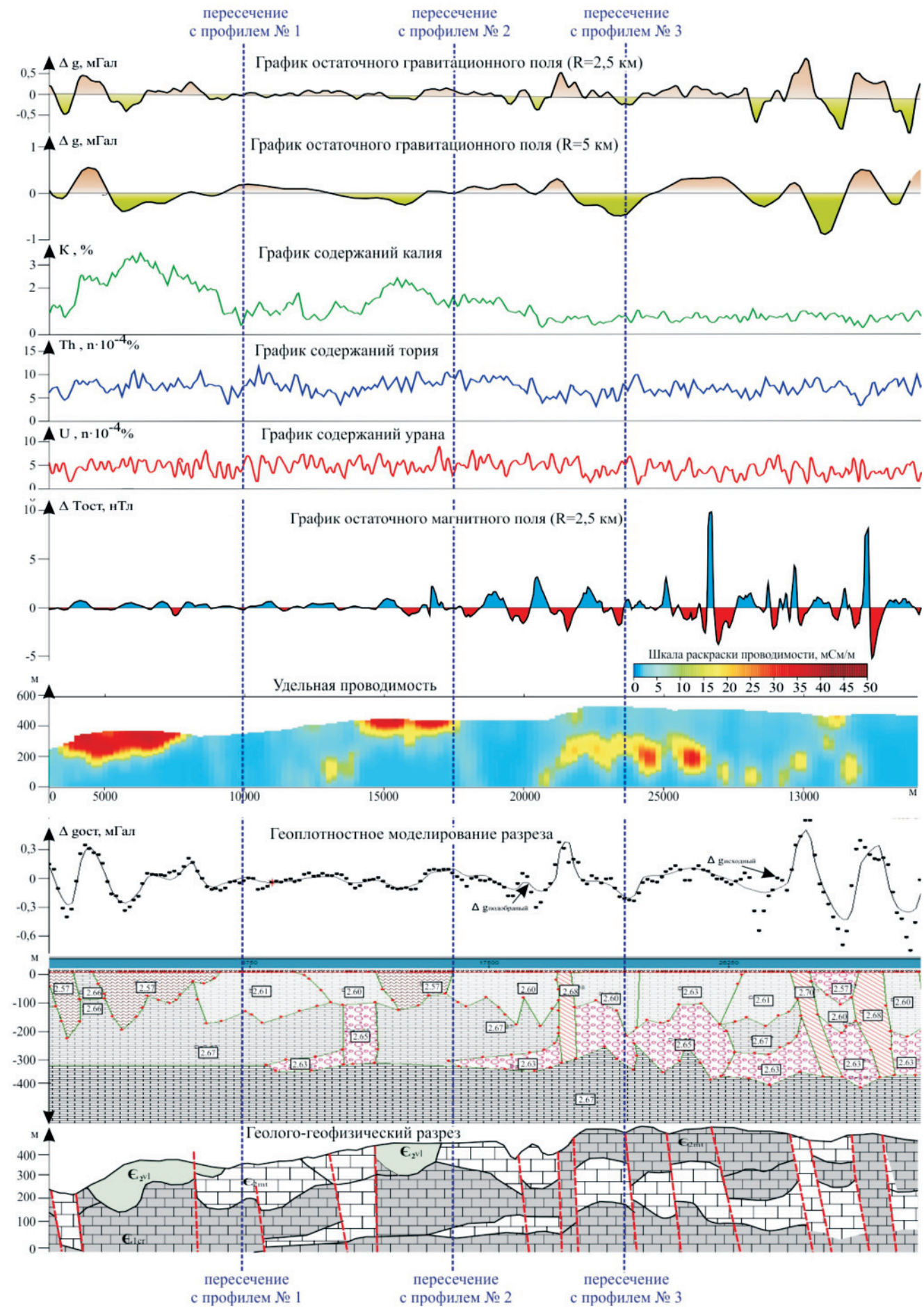


Рис. 9. Пример модели строения ВЧР по комплексу параметров (данные Е. Н. Махнач и др., 2012)

сти, с тенденцией к удешевлению по мере дальнейшего уплотнения.

4. Отсутствие геологической информации об объектах исследования резко снижает эффективность обработки, поэтому не рекомендуется разделять обработку и интерпретацию сейсмических данных в таких сложных регионах, как Восточная Сибирь.

5. Перспективы развития сложно построенных отложений Восточной Сибири – за комплексированием методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Детков В. А., Зарипов С. М.** Повышение экономической эффективности сейсморазведочных работ на нефть и газ // Нефть. Газ. Инновации. – 2017. – № 1. – С. 14–19.

2. **Литолого-стратиграфическая**, петрографо-минералогическая и изотопно-геохронологическая характеристика отложений, вскрытых параметрической скважиной Аргишская 273 (бассейн р. Подкаменная Тунгуска) / Ю. А. Филипцов, М. А. Мащак, А. И. Ларичев и др. // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 47. – С. 28–47.

3. **Новые** данные о геологическом строении Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления и пути дальнейшего освоения ее нефтегазового потенциала / А. П. Афанасенков, Н. Г. Бухаров, Р. Н. Мухамедзянов и др. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2004. – № 1. – С. 34–44.

4. **Череповский А. В.** Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2016. – 230 с.

REFERENCES

1. Detkov V. A., Zaripov S. M. [Increase in economic efficiency of seismic exploration for oil and gas]. *Neft'. Gaz. Innovatsii – Oil. Gas. Innovations*, 2017, no. 1, pp. 14–19. (In Russ.).

2. Filiptsov Yu.A., Mashchak M. A., Larichev A. I., et al. [Lithologic-stratigraphic, petrographic-mineralogical and isotope-geochronological characteristics of sediments exposed by parametric well Argishskaya 273 (the Podkamennaya Tunguska River basin)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya – Regional geology and metallogeny*, St. Petersburg, 2011, no. 47, pp. 28–47. (In Russ.).

3. Afanasenkov A. P., Bukharov N. G., Mukhamedzyanov R. N., et al. [New data on the geological structure of the Yurubchen-Tokhomo oil and gas accumulation zone and ways to further development of its petroleum potential]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral Resources of Russia. Economics and Management*, 2004, no. 1, pp. 34–44. (In Russ.).

4. Cherepovskiy A. V. *Nazemnaya seysmorazvedka novogo tekhnologicheskogo urovnya* [Ground seismic exploration of a new technological level]. Moscow, OOO EAGE Geomodel Publ., 2016. 230 p. (In Russ.).

© М. Ю. Смирнов, Г. Д. Ухлова, Е. В. Мосягин, В. Н. Беспечный, 2018

УДК 550.834:550.8(571.5–18)

ДЕСЯТЬ ЛЕТ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНОЙ СТАНЦИИ РОСА-А

О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков, Т. А. Сальников
Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Десятилетний опыт регистрации сейсмических сигналов с использованием автономных станций РОСА-А (Новосибирск, Россия) при глубинных сейсмических исследованиях на опорных геолого-геофизических профилях (2-ДВ, 2-ДВ-А, 3-ДВ, 1-СБ, 8-ДВ) на удалениях до 300 км свидетельствует об эффективности бескабельных пространственно распределенных сейсмических систем. Станция предназначена для выполнения высокоточных сейсмических измерений, в том числе длительных (сейсмический мониторинг), без предварительной временной настройки при любом заданном режиме работы с источниками различного типа возбуждения упругих колебаний (взрывными, импульсными и вибрационными).

Ключевые слова: *автономный сейсмический регистратор, система синхронизации времени, бескабельная сейсмическая система регистрации, глубинные сейсмические исследования, опорный геолого-геофизический профиль.*

TEN YEARS OF SEISMIC SIGNAL RECORDING WITH THE ROSA-A AUTONOMOUS STATION

O. M. Sagaydachnaya, A. S. Salnikov, A. V. Sagaydachny, A. N. Shmykov, T. A. Salnikov
Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

Ten years of experience in recording seismic signals using autonomous ROSA-A stations (Novosibirsk, Russia) in deep seismic studies on geological and geophysical reference profiles (2-DV, 2-DV-A, 3-DV, 1-SB, 8- DV) at distances of up to 300 km indicates the effectiveness of cable-free spatially distributed seismic systems. The ROSA-A autonomous station is designed to perform high-precision seismic measurements, including long-term (seismic monitoring), without preliminary time adjustment at any given mode of operation with various sources of elastic vibrations (explosive, pulse and vibratory).

Keywords: *autonomous seismic recorder, time synchronization system, cable-free seismic recording system, deep seismic studies, basic geological and geophysical profile.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-77-92

Десять лет прошло после публикации в 2006 г. в общероссийском научно-техническом журнале «Приборы и системы разведочной геофизики» (№№ 2, 4) первых двух статей об автономных высокоточных регистраторах РОСА-А [2, 9]. Отметим, что первоначально идея автономной регистрации сейсмических данных была оформлена в патенте [11]. В это время СНИИГГиМС, как генеральный подрядчик, выполнял геолого-геофизические работы на опорном профиле 2-ДВ (Магаданская обл., Чукотский АО), в том числе глубинные сейсмические исследования методом ГСЗ с использованием мощных вибраторов и взрывов в водоемах для возбуждения упругих колебаний.

Известно, что при сейсмических исследований в особо удаленных районах, когда приходится дополнительно решать нетривиальные задачи доставки, расстановки и эксплуатации оборудования при отсутствии не только подготовленных сейсмических профилей, но и просто дорог, применение кабельных систем крайне затруднено. В этом случае оптимальным становится использование бескабельной автономной системы сбора и регистрации сейсмических данных.

В сложных сейсмогеологических условиях особенно важны открытость и масштабируемость в пространстве бескабельной системы сбора и регистрации сейсмических данных на базе автономных модулей, которые могли бы работать значительное время (несколько суток) в автономном режиме без участия оператора. Возможность использования практически любого заданного количества автономных модулей регистрации, распределенных по площади исследования, обеспечивает проведение сейсмических работ одновременно на нескольких базах наблюдения, в том числе с локальным увеличением плотности пунктов приема на отдельных объектах, определенных целевой задачей.

В начале разработки специалистам СНИИГГиМС была известна реализация автономной сейсмологической станции REFTEK 130–01 американской фирмы Refraction Technology, Inc. В это время стали доступны индустриальные накопители CompactFlach объемом 2 Гб и более. Появились микропроцессоры, способные обрабатывать значительные потоки данных. Повсеместно стали применяться компактные спутниковые GPS-приемники.

Аналоговая часть и дельта-сигма АЦП сейсмического канала регистрации были уже разработаны и протестированы на телеметрической станции РОСА. Тем не менее задача была довольно сложная, так как предстояло до очередного полевого сезона, т. е. за шесть месяцев, подготовить техническое задание и разработать схемотехнику устройства,

сформировать и заказать комплектацию, изготовить печатные платы, корпуса, провести окончательный монтаж, проверку метрологических параметров.

Скажем сразу, что это было успешно выполнено. При разработке автономной сейсмостанции была нарушена обычная последовательность. После обсуждения решений схемотехники в общих чертах была заказана основная комплектация. К сожалению, сроки некоторых поставок, в том числе основных элементов (генераторы, микросхемы дельта-сигма-АЦП), превышали три месяца.

Корпус был заказан одновременно с печатными платами. Проектирование, подготовку производства и дальнейший выпуск взяло на себя ЗАО «Соединитель» (Миасс, Челябинская обл.).

Для ускорения разработки за основу была взята печатная плата телеметрической станции РОСА, а интерфейсная часть заменена на микропроцессор, отвечающий за запись в накопитель CompactFlach и обмен по USB.

В конструкцию были заложены два разъема питания. Это позволяет выполнять «горячую» замену истощенных батарей.

Первым GPS-приемником стал законченный модуль для применения на водном транспорте. Он представлял собой пластмассовый «грибок» с кабелем подключения. «Грибок» этот оказался самым слабым местом станции: было несколько случаев механического повреждения и вследствие этого потеря герметичности прибора. При первой же модернизации он был заменен; GPS-приемник был спрятан в корпус вместе с антенной за поликарбонатное стекло (рис. 1).

Рис. 1. Автономный регистратор РОСА-А (общий вид)

В дальнейшем на протяжении 10 лет эксплуатации не было ни одного случая механического повреждения стекла и нарушения герметичности. Индикация с использованием световодов при первой же модернизации также была убрана под стекло окна GPS-антенны, и визуализация улучшилась. Более того, появилась возможность плотного упаковывания регистраторов в кейсы для транспортировки.

Реализованное решение окна доказало свою надежность. Даже пожары в летние полевые сезоны 2013 и 2015 гг. не нарушили герметичность корпусов приборов.

Полевые испытания автономного регистратора РОСА-А, проведенные в конце 2005 г. на геофизическом полигоне СО РАН (Новосибирская обл.) с использованием центробежного вибратора ЦВП-40, показали, что технические характеристики экспериментальных образцов соответствуют заявленным значениям [2]. К началу полевого сезона 2006 г. была подготовлена пилотная экспериментальная серия из 25 автономных сейсмических регистраторов РОСА-А (100 каналов). В данной комплектации система была апробирована при сейсмических работах методом ГСЗ на опорном геофизическом профиле 2-ДВ (Чукотский АО) и при выполнении наблюдений «суша – море» (Магаданская обл.) [9, 16].

Регистраторы РОСА-А были запрограммированы на автономную работу продолжительностью 10 сут. В рабочем режиме ежедневно включалась запись информации длительностью 1,5 ч в вероятном интервале выполнения взрывов. В ходе проведенных работ регистраторы записали колебания от всех произведенных взрывов. В результате была практически установлена достаточная надежность их работы в условиях высоких широт при повышенном фоне статического электричества.

Первичный материал, полученный от взрывного источника на удалениях до 300 км, характеризуется достаточно высоким отношением сигнал/помеха. Визуально качество полученных сейсмических данных можно оценить по записям на открытом канале (рис. 2).

Кроме наземных работ методом ГСЗ, в этот же период автономные регистраторы РОСА-А использовались на южномагаданском участке профиля 2-ДВ при проведении наблюдений «суша – море». Этот участок протяженностью в 100 км примыкает к северному окончанию морского опорного профиля 2-ДВ-М, на котором сотрудники «Севморгео» выполняли исследования по государственному контракту № 06/0820–25 (Роснедра). Полученные сейсмограммы ГСЗ характеризовались достаточно высоким уровнем сигнала относительно помехи в целевом диапазоне регистрации (рис. 3).

Были собраны и обработаны большие объемы информации, при этом, благодаря контролю за структурой файла, выявлены незначительные потери отдельных блоков данных при работе CompactFlach. К существенным искажениям данных это не привело, так как временная привязка восстанавливалась при обработке. В последующей версии станции защита структуры файла была усилена и вероятность потери синхронизации уменьшилась практически до нуля.

По результатам сейсмических работ ГСЗ полевого сезона 2006 г. было решено выпускать автономный регистратор РОСА-А, и к 2011 г. было изготовлено 250 приборов (примерно по 50 штук в год).

Естественно, в сложных климатических и геоморфологических условиях Северо-Востока России были неизбежны утраты аппаратуры. Практика по-

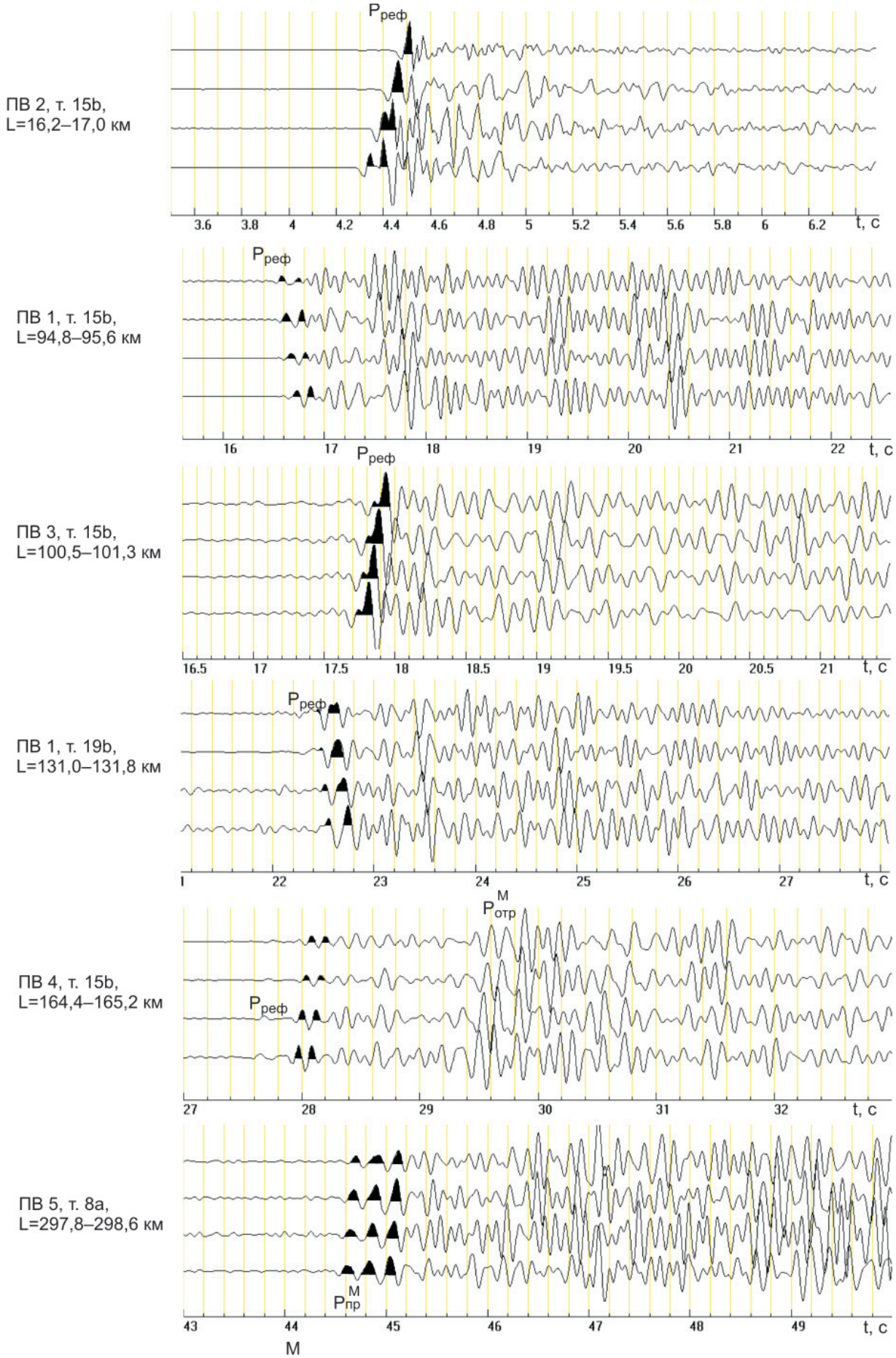


Рис. 2. Примеры волновых полей продольных волн, зарегистрированных на дискретных установках РОСА-А на участке пос. Омолон – р. Малый Анюй профиля 2-ДВ

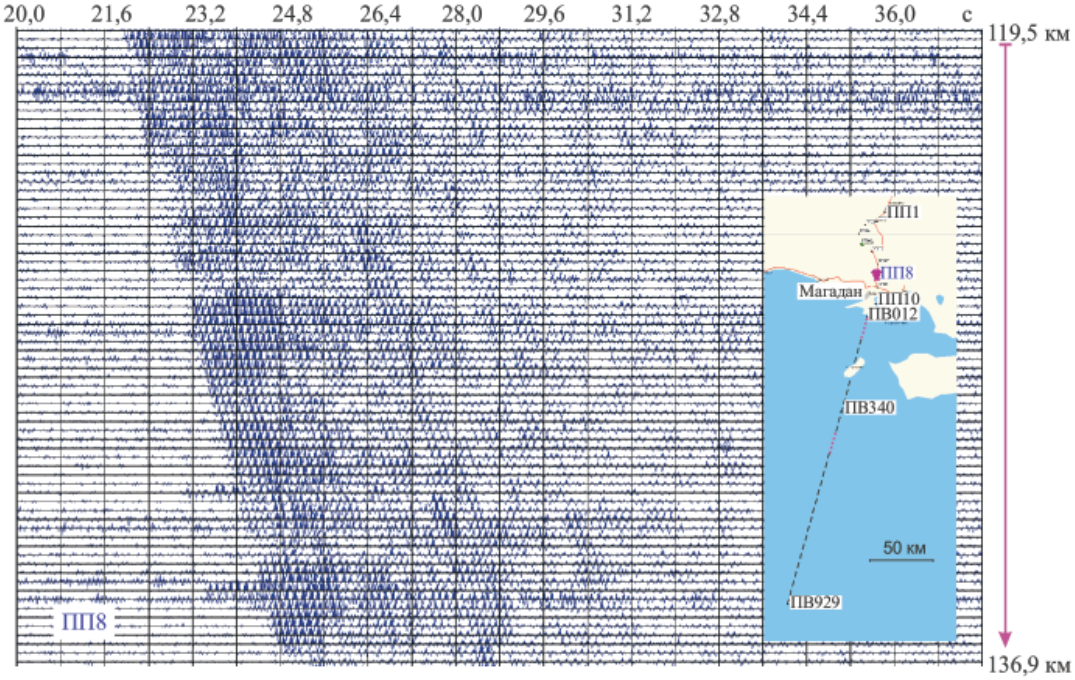


Рис. 3. Фрагмент обращенного годографа при наблюдениях «суша – море»

казала, что особенно большой урон наносят грозы. Особо отметим полевой сезон 2008 г., когда они принесли максимальные материальные потери.

При проведении сейсмических работ методом ГСЗ 4-канальная автономная станция РОСА-А комплектовалась кабелем, имеющим общую длину 900 м между крайними геофонами. Фактически сейсмокоса представляла собой антенну, что в условиях гроз приводило к очень серьезным последствиям. Сгоревшие модули имели повреждения аналоговой части (отказ усилителей, АЦП, резисторов и конденсаторов). Некоторые платы не подлежали ремонту из-за разрушения топологии вплоть до разрушения проводников и разъемов. Всего было повреждено до 50 % регистраторов. Понятно, что с таким положением дел мириться не следовало. Для грозозащиты станции в разветвители была установлена дополнительная плата: защита в две ступени – искровой разрядник и ограничитель напряжения на варисторах, и весь излишний заряд стекал на общий провод. Применение защиты уменьшило повреждения модулей на порядки! Если первоначально требовался ремонт 5 % станций, после сезона 2008 г. – до 50 %, то теперь менее 1 %. Раньше в 80 % случаев приходилось менять входные микросхемы усилителей и даже АЦП за ними (в сумме до 120 дол. за канал), а сейчас замене подлежат лишь резисторы ограничителя. В целом проблема была решена.

Принципы построения системы сбора сейсмических данных на основе автономных регистраторов

Современные цифровые технологии способствуют революционному внедрению бескабельных сейсмических систем на базе автономных высокоточных регистраторов (класса РОСА-А). В настоящее время уровень микроэлектроники практически снимает ограничения на автономность устройства регистрации данных, связанные с сохранением их больших объемов. В открытом доступе твердотельная flash-память объемом свыше 32 Гб, которая работает в широком температурном диапазоне (от –40 °С до +60 °С). Подобный объем памяти обеспечивает режим непрерывной регистрации в течение 10 сут и более, что позволяет полностью (или частично) отказаться от строго регламентированной по времени работы с искусственными источниками возбуждения различного типа (взрывными, импульсными и вибрационными). Предусмотрена возможность использования SD-карт и USB-накопителей в индустриальном исполнении, и их можно заменять для считывания без нарушения герметизации устройства в полевых условиях.

Временна́я привязка сейсмических записей осуществляется на этапе обработки, и такая организация регистрации сейсмических данных позволяет исключить радиоканал для синхронизации, телеметрическую систему управления, сбора и передачи значительных объемов данных.

Систему автоматической временной привязки сейсмических наблюдений к мировому времени (UTC) можно построить, используя высокоточный генератор и (или) спутниковые приемники. Каждое из этих решений при определенных условиях правомерно и эффективно. Использование приемников GPS (Глонасс) позволяет получить точность синхронизации не хуже ±1мкс при условии приема минимум от трех спутников. В настоящее время спутниковые приемники, временна́я синхронизация которых удовлетворяет достаточно высоким требованиям, относительно недороги и легко встраиваются в любые элементы станции, в том числе и в полевые модули. Высокоточные термостатированные гене-

раторы, у которых погрешность частоты составляет $\pm 10^{-8}$, предполагают временную неопределенность менее ±1 мс/сут. Использование подобных генераторов позволяет длительное время работать в автономном режиме при отсутствии устойчивого приема спутниковых сигналов с сохранением временной синхронизации заданной точности.

С позиции энергопотребления использование спутниковых сигналов предпочтительнее, чем применение высокостабильного генератора, поскольку в режиме записи потребляемая мощность составляет для спутникового приемника менее 0,1 Вт, а для внутреннего генератора 1 Вт. Соединение указанных элементов в одном устройстве позволяет организовать пространственно распределенные системы регистрации сейсмических данных, не уступающие телеметрическим системам.

Автономная сейсмическая станция РОСА-А построена в соответствии с данной схемой, реализованные решения защищены патентами РФ [3, 4].

Опорный временной сигнал спутникового приемника, так называемый PPS – точный секундный импульс с джиттером 100 нс (фазовое дрожание), используется для точной настройки тактирования. Для уменьшения влияния джиттера используется промежуток синхронизации в 256 с, на котором усреднение джиттера снижает его со 100 до 0,39 нс.

Система синхронизации работает следующим образом. Сравниваются промежутки 256 с от спутникового GPS-приемника и от системы синхронизации, работающей от генератора. По разнице времен вычисляется сигнал ошибки, который на указанном промежутке корректирует (в цифровом виде) систему синхронизации, формирующую тактовые импульсы часов (512 кГц) и дельта-сигма-модуляторов. При реализации системы синхронизации были использованы функциональные возможности матриц фирмы Altera, особенно встроенных синтезаторов частоты. После синхронизации сигналами со спутника точность часов определяется только генератором (а именно 10^{-8}), что составляет суточный дрейф на уровне ±1 мс/сут. Этот параметр проверяется на приемо-сдаточных и периодических испытаниях. Благодаря цифровой системе подстройки частоты первоначальная настройка генераторов не требуется. После внедрения такой системы взаимный дрейф станций в отсутствие спутников, например в шахте, также не превышает 10^{-8}.

Описанный механизм настройки часов в настоящее время значительно изменился по отношению к первоначальным. Это вызвано переходом на новые микросхемы АЦП, которым теперь нужно выдавать 4096 кГц частоты меандром. При этом встроенные часы станций должны идти синхронно на всех пунктах наблюдения в реальном времени без каких-либо ограничений. При наличие спутников синхронизация оценивается как абсолютная, при отсутствии спутниковых сигналов она определяется точностью генераторов. Первоначальный разброс генераторов может доходить до 10^{-6}, автоматика снижает погрешность более чем на два порядка.

Функциональные и технические характеристики регистратора РОСА-А

С начала эксплуатации система регистрации и сбора сейсмических данных на базе автономных регистраторов РОСА-А показала свои функциональные возможности и высокие технические характеристики. К их числу относится отсутствие внешнего кабеля для электропитания и проводной связи с управляющей станцией, а также проводов между полевыми модулями. Система синхронизации времени позволяет выполнять сейсмические исследования в условиях неустойчивого приема спутниковых сигналов или их отсутствия. Реализованы защищенное хранение сейсмических данных и технология высокоскоростной передачи больших объемов информации.

Комплексную проверку функционального состояния модуля регистрации РОСА-А можно провести в любое время с использованием компьютера и с подключением через Ethernet-порт. В реальном времени на мониторе можно прослеживать и контролировать сигналы, принятые сейсмодатчиками, оценивать состояние системы синхронизации, выполнять мониторинг технических параметров (напряжения питания, тока потребления, температуры). При необходимости с клавиатуры можно запрограммировать режим работы автономной станции, в том числе считать, записать или изменить программу эксперимента, а также передать полевые сейсмические данные на компьютер в реальном времени. Все метрологические параметры цифрового канала регистрации можно оперативно получить, используя встроенный тестовый генератор.

В полевых условиях можно осуществить оперативный многооперационный контроль за системой регистрации сейсмических данных: устройство обладает функциями самодиагностики и самотестирования с документированием результатов в виде файлов внутри встроенной Flash-памяти. При установке на местности оператору доступна индикация подключения геофона по уровню принятого сигнала.

К основным характеристикам цифрового канала регистрации сейсмических сигналов относятся [6]:

– частотный диапазон (Гц);

– максимальный по амплитуде входной сигнал (уровнем максимального входного сигнала считается напряжение (В) ограничения – уровень клиппирования сейсмического канала);

– действующее значение аппаратурного шума (мкВ), приведенного к входу усилителя, который определяет минимальный уровень регистрации сейсмических сигналов и рассчитывается через значение среднеквадратического отклонения случайного процесса, зарегистрированного каналом, шунтированным на входе эквивалентом датчика, разделенное на коэффициент усиления канала;

– мгновенный динамический диапазон (мДД), который определяется как производная через отношение максимального действующего напряжения к собственным шумам;

– коэффициент нелинейных искажений канала регистрации;

– коэффициент подавления синфазной помехи.

Проблема с нелинейными искажениями сигнала при регистрации практически решена, поскольку в современных сейсмических станциях уровень нелинейных искажений цифрового канала регистрации на несколько порядков ниже уровня собственных нелинейных искажений канала преобразования геофона.

Применяемые в настоящее время усилители обеспечивают уровень подавления синфазной помехи от –100 дБ.

Базовым параметром, ограничивающим минимальный уровень регистрируемых сигналов, является величина мДД сейсмического канала. Как правило, регистрация полноформатных данных (мДД >120 дБ) обеспечивает достоверное выделение информативной составляющей в общем потоке информации и, следовательно, возможность исследования энергетически слабо выраженных отдельных элементов сейсмического поля [6].

Дельта-сигма-модулятор высокого порядка применяется для достижения требуемого значения мДД цифрового канала регистрации. Обеспечение высокого уровня его цифрового канала регистрации сейсмических данных предполагает снижение эффекта наложения спектров, обусловленного дискретизацией сигнала. Цифровые фильтры современных микросхем построены, как правило, по принципу каскадной фильтрации с последующим прореживанием данных. Аналоговый антиалиасинговый фильтр должен уменьшить все гармоники выше половины частоты прореживания до уровня менее –120 дБ, в противном случае произойдет их перенос в полосу пропускания. Амплитудно-частотную характеристику сквозного канала регистрации необходимо проверять, чтобы исключить влияние эффекта наложения спектров.

Общий динамический диапазон цифрового канала автономного сейсмического регистратора РОСА-А превышает 140 дБ, что обеспечивает высокое качество получаемого сейсмического материала [8, 21].

Тем не менее со временем потребность увеличения времени автономной работы регистратора стало одним из определяющих требований. Объема накопителя данных, как правило, было достаточно, проблема увеличения времени автономной работы заключалась в питании. Для ее решения стали применять по два аккумулятора на один полевой модуль РОСА-А. Периодически (раз в две недели) приходилось объезжать действующую расстановку и заменять аккумуляторы на заряженные. Для особенно труднодоступных точек стали устанавливать аккумуляторы повышенной емкости. Работа эта была не из легких, так как приходилось перетаскивать все на себе на значительное расстояние от дорог. Проблема была решена с началом применения солнечных батарей в дополнение к единственному аккумулятору [14]. Вес солнечной батареи размером с лист бумаги формата А4 около 200 г, что не идет ни в какое сравнение с весом штатного аккумулятора – 6 кг. Опыт производственных сейсмических работ ГСЗ на опорных профилях показал, что при правильной расстановке (и позиционировании на солнце) время работы автономного регистратора РОСА-А питанием уже не регламентируется. Реальная автономность рабочего сеанса доходила до месяца и более, что существенно увеличило производительность работ и, соответственно, уменьшило сроки их выполнения.

Сейсмические работы с автономными регистраторами РОСА-А

Работы по созданию государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин относятся к одному из приоритетных направлений геолого-геофизических исследований в рамках федерального заказа, ориентированных на комплексное изучение недр Российской Федерации для федеральных нужд и решение основополагающих проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы [7]. Новые сейсмические данные на отраженных и преломленных волнах, полученные методами ОГТ, ГСЗ и КМПВ, составляют фундаментальную фактологическую основу геолого-геофизических построений глубинной модели земной коры.

Сейсмические работы методом ГСЗ начались на опорных профилях на северо-востоке России (2-ДВ) с 2001 г. (рис. 4). Практически с этого времени началось возрождение метода ГСЗ в нашей стране на основе современных уникальных технических средств российского производства (таких как автономные регистраторы РОСА-А и мощные сборно-разборные виброисточники).

Глубинные исследования с автономными станциями РОСА-А на опорном геофизическом профиле 2-ДВ были начаты в 2006 г. [9]. В статье [10] подробно освещены технология сейсмических работ с автономными станциями РОСА-А на геотраверсах, расположенных на востоке России (2-ДВ, 2-ДВ-А, 3-ДВ), а также работы, выполненные методом ГСЗ по системе наблюдений «суша – море», увязывающие морские опорные профили 2-ДВ-М и 5-АР и сухопутный 2-ДВ (Магаданская обл., Чукотский АО). Возбуждение осуществлялось сотрудниками «Севморгео» на акваториях Охотского (2006 г.) и Восточно-Сибирского (2008 г.) морей с применением морских пневмоизлучателей.

В 2017 г. завершены работы на опорном профиле 1-СБ (Восточный), выполняются полевые работы ГСЗ на профиле 8-ДВ (участок Восточно-Ста-

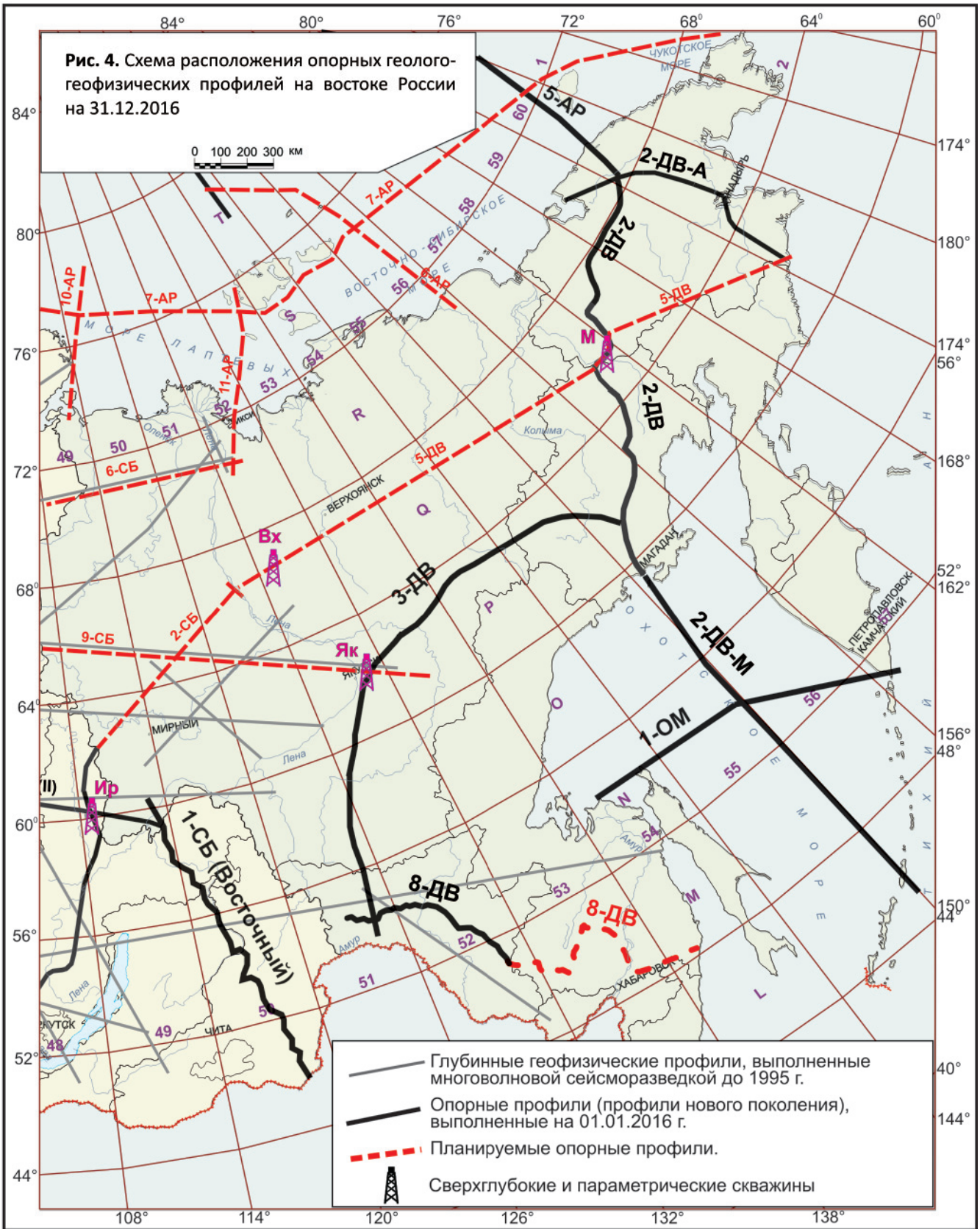


Рис. 4. Схема расположения опорных геолого-геофизических профилей на востоке России на 31.12.2016

новой, 800 км) с системой РОСА-А в комплекте из 200 автономных регистраторов на удалениях до 300 км от взрывных источников. Таким образом, к настоящему времени всего было отработано около 9000 пог. км профилей ГСЗ.

Получены полевые материалы высокого качества (рис. 5), позволившие составить глубинные геолого-геофизические разрезы земной коры и верхней части мантии (рис. 6).

Опыт производственного применения автономных регистраторов РОСА-А для глубинных исследований методом ГСЗ в наземном варианте и по технологии «суша – море» показал экономическую эффективность бескабельной системы РОСА-А. На

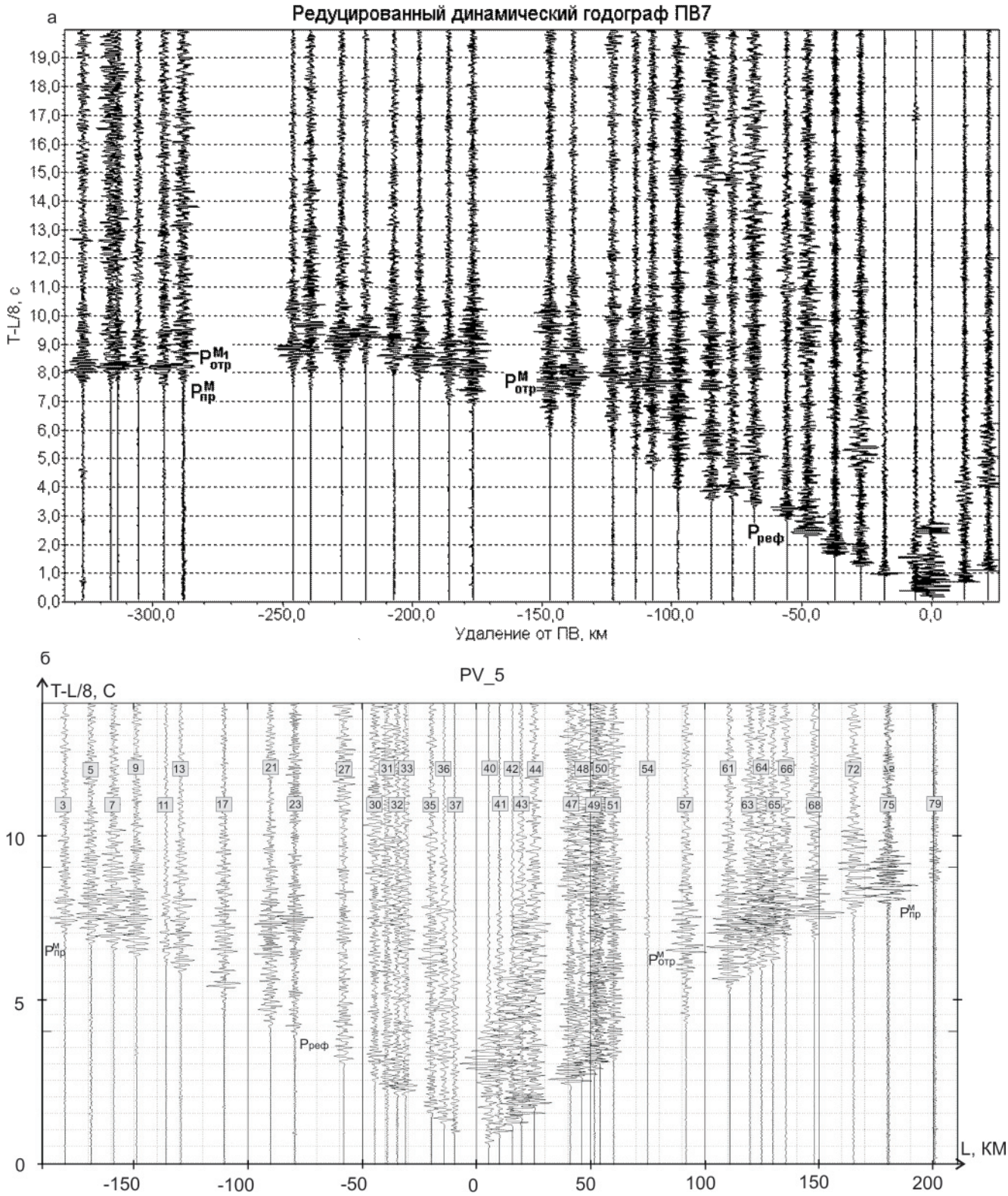
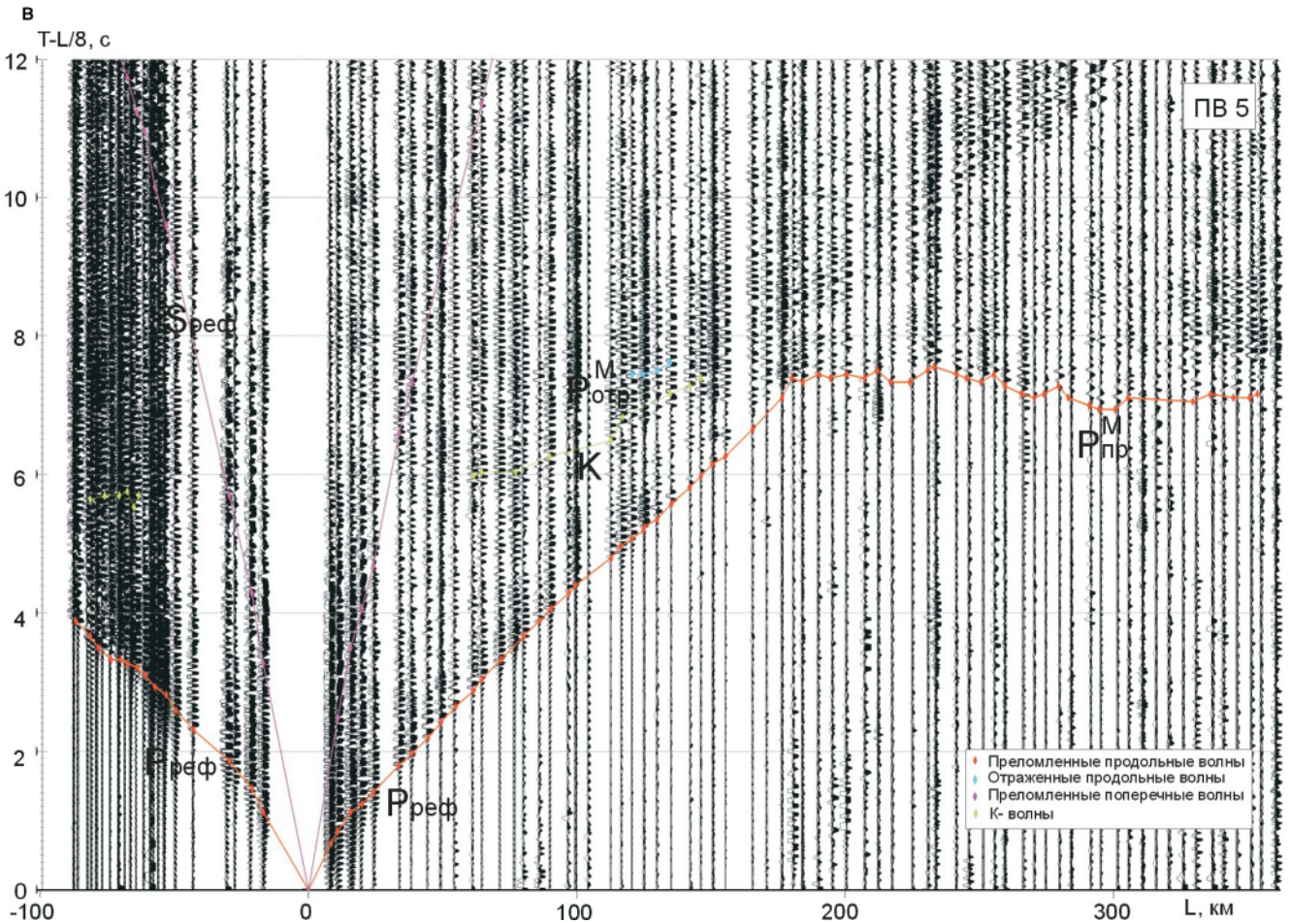


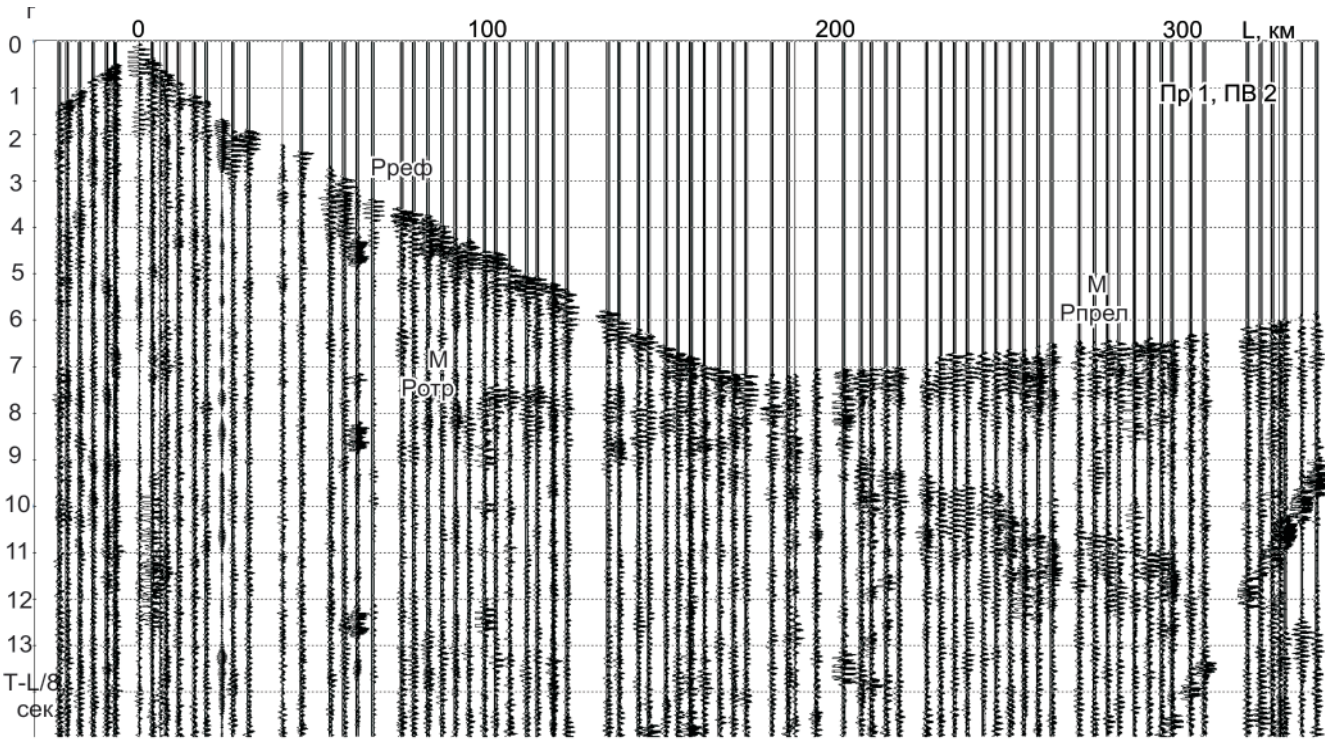
Рис. 5. Редуцированные динамические годографы; профили: а – 2-ДВ, б – 2-ДВ-А, в – 3-ДВ, г – 1-СБ

удалениях до 300 км от источника были зарегистрированы целевые сейсмические волны с высоким отношением сигнал/помеха при взрывном и невзрывном (импульсном и вибрационном) способах возбуждения упругих колебаний.

Детальные исследования по сейсмическому «просвечиванию» угольных пластов были начаты совместно с ОАО НЦ ВостНИИ (Кемерово) в 2008 г. Работы в шахтах Кузбасса продолжались с целью обнаружения и/или исключения в процессе угледобычи «внезапного» обнаружения зон геологических нарушений в угольных пластах в 2009–2010 гг.

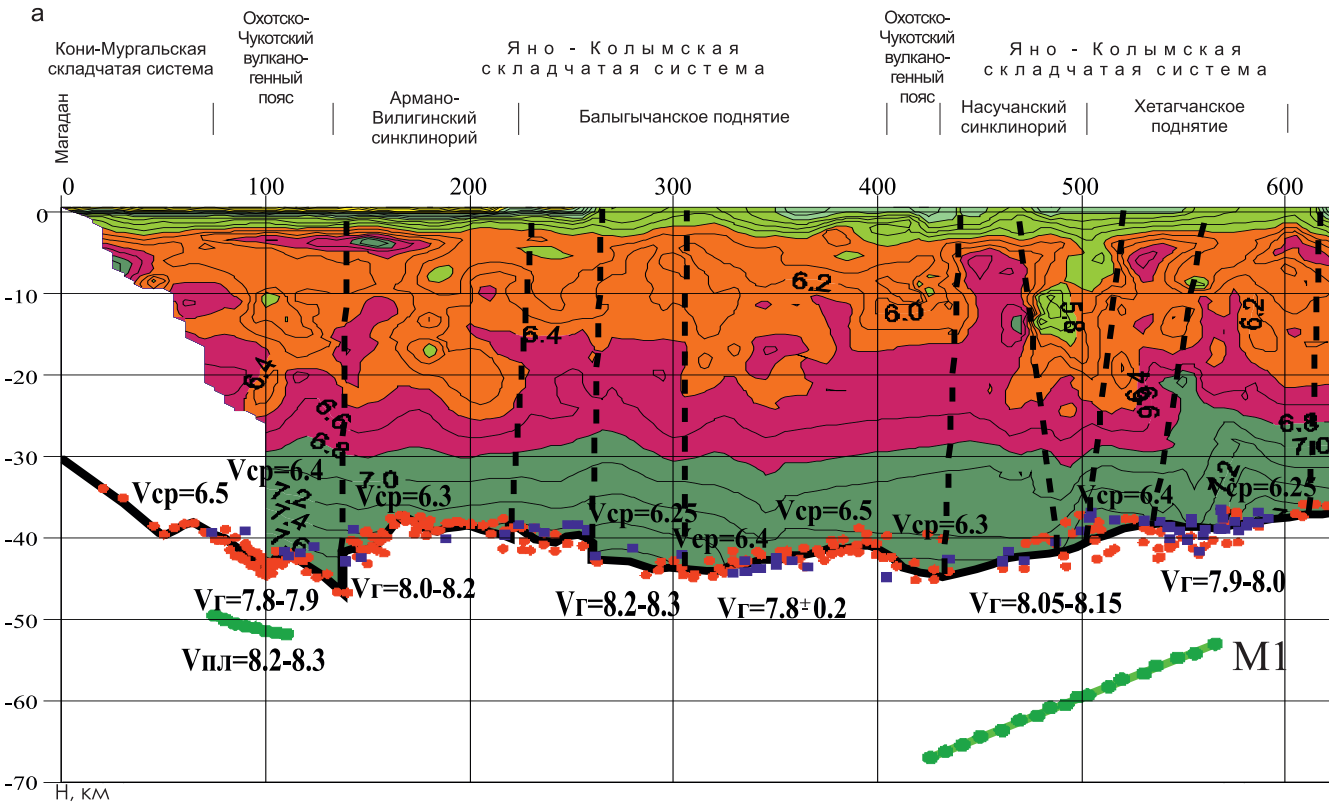
Важнейшим условием использования системы сбора и регистрации сейсмических данных с автономными регистраторами РОСА-А в шахтах является обеспечение высокоточной синхронизации времени при отсутствии спутниковых сигналов [1, 13].

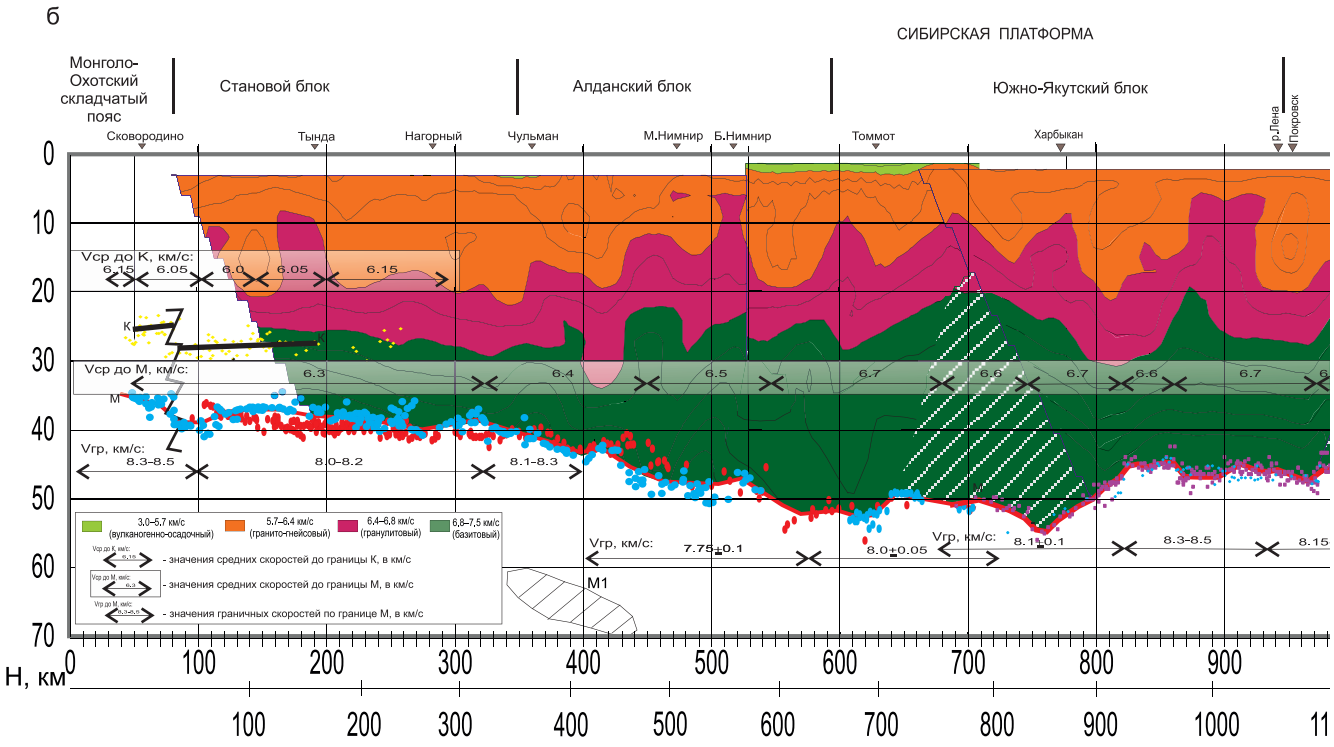




Полевая методика работ включала систему многократных перекрытий на проходящих волнах, при которой возбуждение сейсмических колебаний осуществлялось с использованием импульсного источника (ударного типа) из параллельного (конвейерного) штрека (рис. 7).

Реализация такой схемы работ с автономными регистраторами обладает важным преимуществом: отсутствие проводных линий между пунктом возбуждения и пунктом приема, находящихся в разных штреках. Динамический диапазон сейсмического канала станции и система временной привязки (по-





грешность порядка единиц мкс при 8-часовой работе) позволили получить качественный материал в условиях высокого уровня микросейсм от работающих механизмов.

Сейсмотомографическая обработка волнового поля на проходящих объемных и каналовых волнах позволила выявить и проинтерпретировать особенности геологического строения угольного пласта, включая оценку прогноза выделения размывов угольного пласта в пределах лавы (рис. 8). Практически было показано, что предлагаемый способ оптимизирует процесс отработки угольных пластов за счет опережающего прогноза местоположения песчаных врезов, механически ослабленных участков и зон повышенного метановыделения. Результаты проведенных исследований были подтверждены последующими горнопроходческими работами [12].

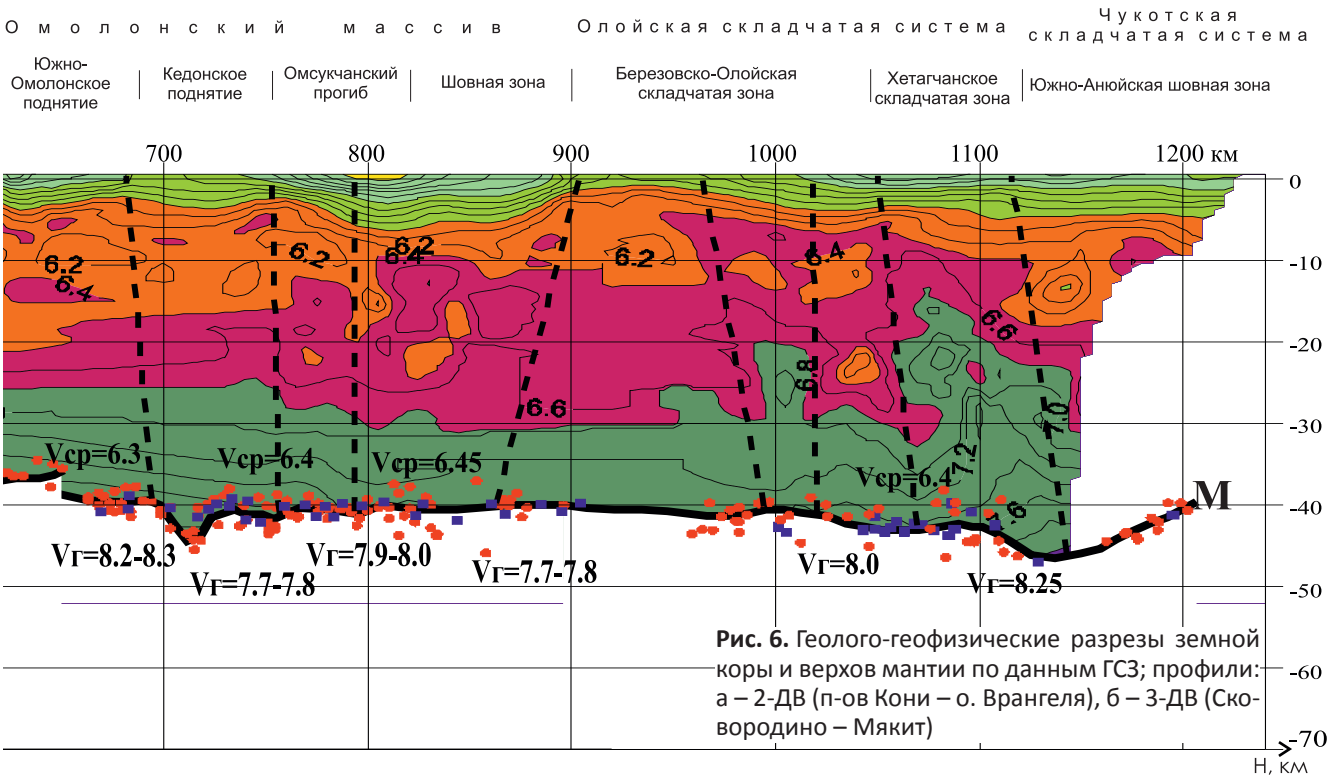
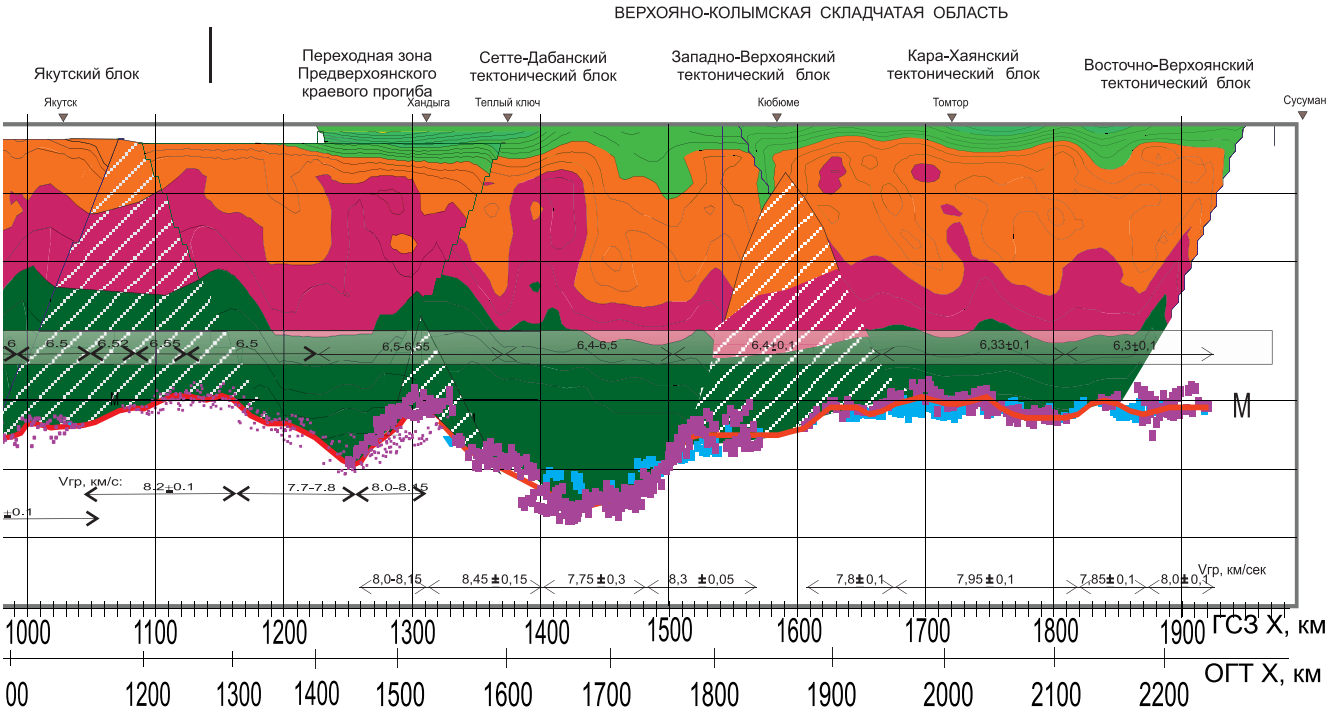


Рис. 6. Геолого-геофизические разрезы земной коры и верхов мантии по данным ГСЗ; профили: а – 2-ДВ (п-ов Кони – о. Врангеля), б – 3-ДВ (Сковородино – Мякит)



Пассивные сейсмические наблюдения. Важным условием для максимально полного извлечения нефти при минимизации эксплуатационных затрат является сейсмический мониторинг месторождения, в том числе с использованием методик пассивных сейсмических наблюдений. В феврале 2008 г. экспериментальные работы на нефтяном месторождении (Ханты-Мансийский АО) по указанной методике с использованием автономных станций РОСА-А и Reftek (США) проведены Югорским НИИ информационных технологий (Ханты-Мансийск). При обработке полученных сейсмических записей были выделены зоны разуплотнения геологической среды, что позволило оптимизировать разработку залежи. В сложных климатических условиях северных регионов России аппаратура РОСА-А подтвердила заявленные технические характеристики и показала конкурентоспособность при выполнении

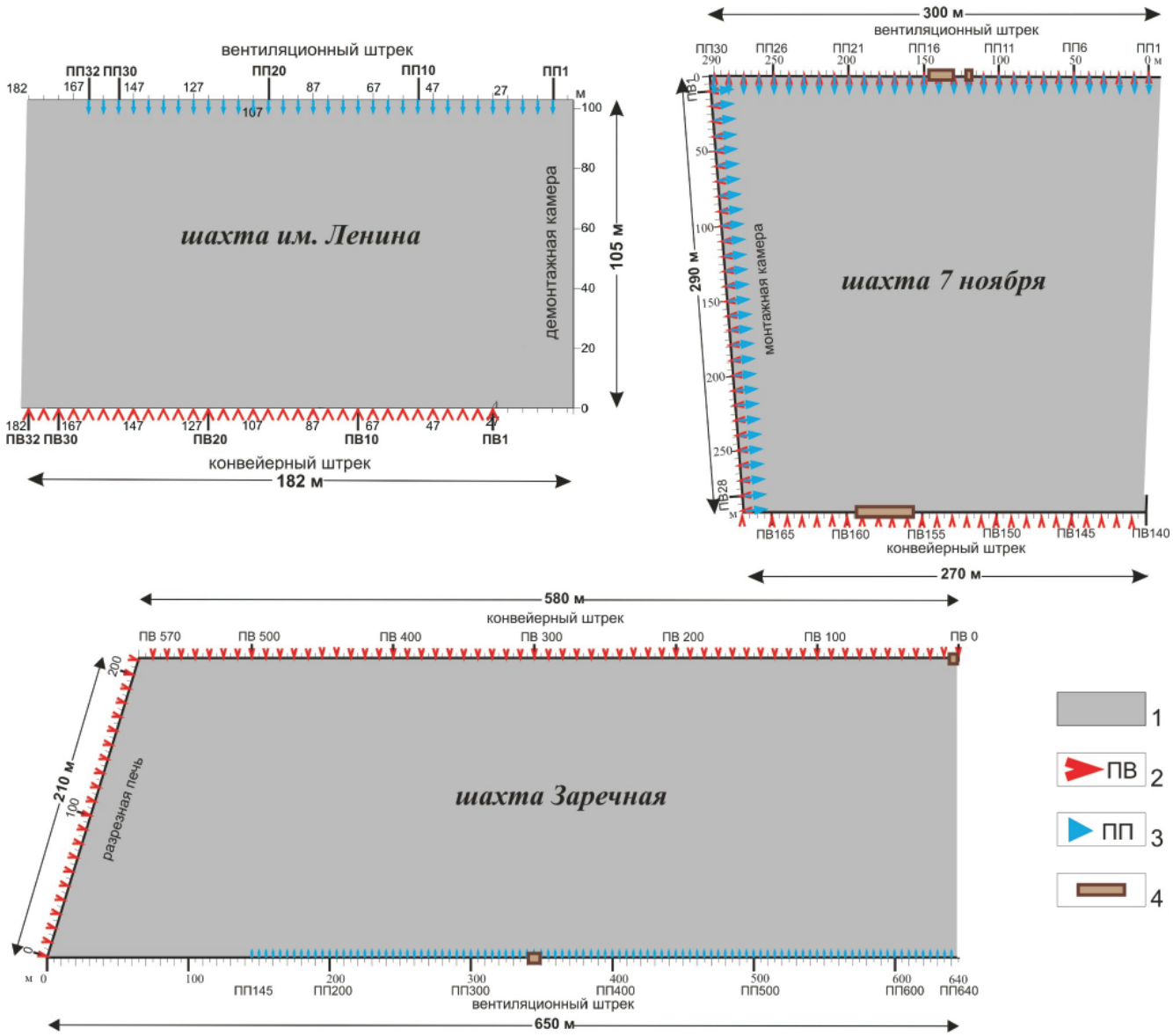


Рис. 7. Системы наблюдений на проходящих сейсмических волнах, реализованные в угольных шахтах Кузбасса

1 – угольный пласт; 2 – пункты возбуждения в штреке; 3 – пункты приема в штреке; 4 – наблюдаемое обнажение песчаного вреза

сейсмического мониторинга в зимних условиях таежной местности [5].

Пассивный сейсмический мониторинг с целью изучения естественного фона микросейсмической активности в зоне главного разрыва Чуйского землетрясения 2003 г. и динамики процесса консолидации горных пород верхней части разреза осуществлялся на протяжении 2004–2007 гг. с использованием автономных регистраторов РОСА-А [5]. Методика экспериментов представляла собой ряды дискретно-непрерывных трехкомпонентных наблюдений волнового поля как в пределах трещиноватой зоны, так и вне ее (рис. 9). В результате проведенных исследований установлено, что сейсмическая активность зоны главного разрыва Чуйского землетрясения продуцируется не только глубинным афтершоковым процессом, но и более слабыми событиями, связанными с блоковым строением трещиноватой зоны. Наиболее информативными параметрами, характеризующими динамику процесса восстановления среды, являются амплитудно-частотные характеристики как полного волнового поля, так и локальных волновых пакетов от микросейсмических событий.

Область применения

Пространственно распределенная бескабельная система регистрации сейсмических данных (в том числе трехкомпонентных) на основе автономных регистраторов предназначена для выполнения высокоточных сейсмических измерений, в том числе длительных, например, при проведении глубинных исследований, сейсмическом и сейсмологическом мониторинге. Но их можно использовать и для сбора и регистрации данных высокоразрешающих съемок [17–20].

Одним из перспективных направлений применения бескабельных систем регистрации и сбора

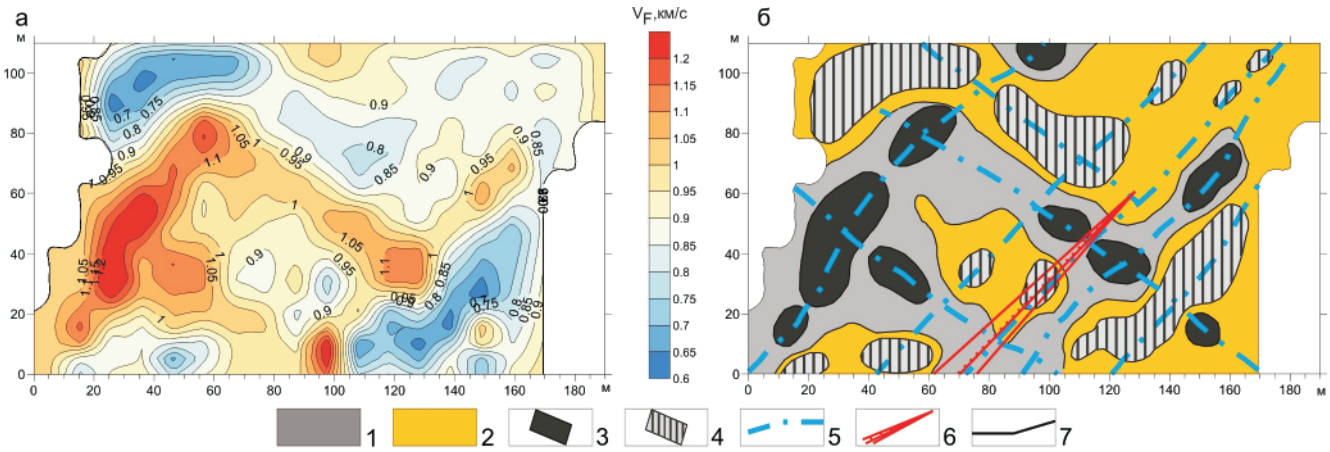
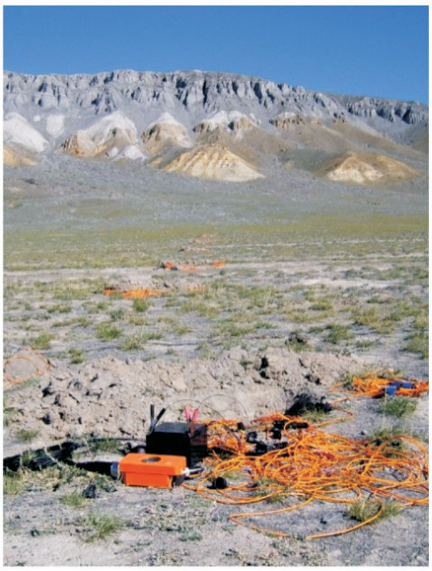


Рис. 8. Геолого-геофизические результаты, полученные при исследованиях в шахте им. В. И. Ленина: а – сейсмотомографический разрез угольного пласта по параметру скорости каналовой волны, км/с; б – латеральная геологическая модель

Зоны плотности угольного пласта: 1 – высокой, 2 – низкой; локальные участки повышенной плотности угольного пласта: 3 – повышенной (повышенной напряженности, пониженной проницаемости, пониженной трещиноватости), 4 – пониженной (повышенной трещиноватости, пониженной напряженности и повышенной проницаемости); 5 – шарниры складчатых структур; 6 – прогнозная зона разрывного нарушения по геологическим данным; 7 – граница углей различной плотности



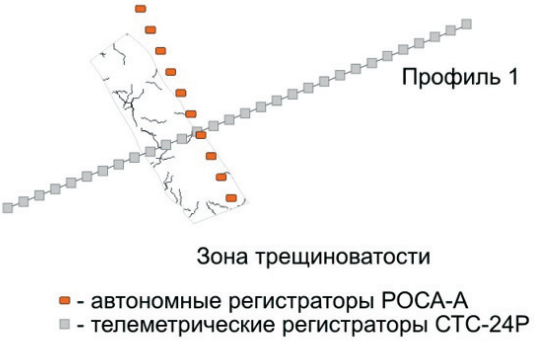


Рис. 9. Схема сейсмического мониторинга (2007 г.) с автономными регистраторами РОСА-А

данных является возможность решения следующих задач:

– локальное увеличение кратности наблюдения на площади, например около скважины, и/или для детального изучения верхней части разреза;

– организация одновременной записи однокомпонентных (1С) и многокомпонентных (3С) данных с использованием различного типа датчиков (аналоговых и/или цифровых);

– обеспечение сейсмических работ в особо сложных геоморфологических условиях, например на заболоченных участках, в речной сейсморазведке или на больших удалениях при ГСЗ;

– проведение сейсмических исследований в условиях неустойчивого приема спутниковых сигналов или их отсутствия, в том числе на горнодобывающих предприятиях (наземных и подземных);

– выполнение активного и пассивного сейсмического мониторинга, обеспечение организации непрерывной записи микросейсмического процесса (пассивный сейсмический мониторинг).

Выводы

За 10 лет эксплуатации автономной сейсмической станция РОСА-А не было отказа полевого оборудования с потерей информации, все работы были выполнены в полном объеме и в требуемые сроки. Заметим, что первые автономные регистраторы, изготовленные в 2006 г., используются до сих пор. Потенциал технических решений и идей развития не исчерпан и постоянно пополняется одновременно с развитием уровня техники [15].

В результате исследований в области регистрации слабых сейсмических сигналов показано, что малошумящий высокочувствительный цифровой канал автономной станции РОСА-А позволяет регистрировать сигналы в широком частотном диапазоне – практически от нуля до 3,2 кГц.

Экспериментально подтверждено, что низкий уровень собственных аппаратурных шумов позволяет отказаться от группирования геофонов. Качественный цифровой канал записи служит определяющей основой для реализации современного класса сейсмической аппаратуры – автономного регистратора, совмещенного с геофоном, при этом синфазная помеха устраняется практически полностью посредством экранирования геофона.

Высококачественный цифровой 24-разрядный канал автономных регистраторов РОСА-А имеет динамический диапазон, достаточный для регистрации слабых сейсмических сигналов (на уровне микросейсм), и позволяет провести широкий спектр сейсмических и сейсмологических исследований, включая методики пассивной сейсморазведки и режим наблюдения в реальном времени.

Обобщая результаты работы, можно определить **требования к перспективной системе для последующей разработки и внедрения**.

Для повышения производительности работ и, следовательно, уменьшения времени расстановки в поле оборудования, облегчения этапа настройки и контроля необходимо перейти к использованию одноточечных станций. Станция должна быть одно-, двух-, трехканальной в зависимости от типа сейсмодатчика.

В этом случае при отсутствии косы нет дополнительной процедуры смотки и размотки кабелей. Важно отметить, что исчезает и проблема грозозащиты.

Необходимо укомплектовать станцию встроенным современным литий-ионным аккумулятором, при этом использование внешнего аккумулятора или солнечной батареи не отменяется.

Для повышения синхронизации станций в отсутствие спутников, например в шахте, следует добавить скоростную проводную синхронизацию. Опыт такой синхронизации имеется. Время синхронизации составляет всего 8 с против 256 с по спутниковым сигналам.

Что касается элементной базы для построения такой станции, то использовать нужно последние достижения в электронике в части как аналоговых микросхем, так и микропроцессоров и логических матриц. Пластмассовый корпус можно признать более практичным и удобным, чем металлический. Переход на SD-карту с возможностью механического съема накопителя – обязательное условие наряду с наличием USB, Wi-Fi, Ethernet (по заказу пользователей). В дальнейшем, с учетом появления новейшей элементной базы, важно сосредоточиться на вопросах снижения себестоимости, уменьшения веса и энергопотребления, повышения надежности и качества сервисных функций сейсмических систем регистрации и сбора данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автономная** система сбора сейсмических данных: Патент № 103937 (RU) на полезную модель / А. В. Вершинин, О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный и др. – Приоритет от 22 декабря 2010 г., опубл. 27.04.2011. Бюл. № 12.

2. **Автономные** регистраторы РОСА-А для высокоточных сейсмических наблюдений / О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. С. Сальников и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – № 2. – С. 40–43.

3. **Автономный** регистратор сейсмических сигналов: Патент № 2331087 (RU) на изобретение / О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. С. Сальников и др. – Приоритет от 09.01.2007, опубл. 10.08.2008. Бюл. № 22.

4. **Автономный** регистратор сейсмических сигналов и устройство автоматической настройки и коррекции тактовой частоты автономного регистратора сейсмических сигналов: Патент № 2366981 (RU) на изобретение / А. Н. Шмыков, О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. С. Сальников. – Приоритет от 08.04.2008, опубл. 10.09.2009. Бюл. № 25.

5. **Бескабельная** система регистрации РОСА-А – техническая основа активного и пассивного сейсмического мониторинга / О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков // 5-я Международная выставка «НЕДРА-2008». Тез. науч.-техн. конф. «Технико-технологическое обеспечение геолого-разведочных работ. Проблемы и перспективы», 1–4 апреля 2008 г.: официальный каталог ВВЦ, Москва. – М., 2008. – С. 135–138.

6. **Ермаков Б. Д.** Особенности регистрации слабых сигналов в сейсморазведке. – М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1995. – 46 с.

7. **Липилин А. В., Никитин А. А., Черемисина Е. Н.** Проблемы комплексной интерпретации геофизических данных по региональным профилям и пути их решения. – Геофизика. – 2002. – № 4. – С. 3–6.

8. **Многомерная** система наблюдений на основе сейсмических регистраторов семейства РОСА® / О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Сагайдачный и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 2. – С. 32–33.

9. **Первые** результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А при работах ГСЗ / О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. С. Сальников и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – № 4. – С. 43–47.

10. **Полевые** сейсмические работы на опорных профилях северо-востока России / А. С. Сальников, О. М. Сагайдачная, А. В. Липилин и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2009. – № 2. – С. 46–54.

11. **Сагайдачный А. В., Шмыков А. Н.** Бескабельное устройство для регистрации сейсмических данных: Патент РФ № 41376 (полезная модель). – Приоритет от 24.05.2004 г., опубл. 20.10.2004. Бюл. № 20.

12. **Сейсмические** исследования в шахтах с использованием автономной системы регистрации РОСА-А / О. М. Сагайдачная, К. А. Дунаева, Б. А. Канарейкин и др. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – № 4. – С. 40–45.

13. **Устройство** автономной регистрации сейсмических сигналов: Патент № 90223 (RU) на полезную модель / А. Н. Шмыков, А. В. Вершинин, О. М. Сагайдачная и др. – Приоритет от 10.09.2009, опубл. 27.12.2009. Бюл. № 36.

14. **Устройство** регистрации сейсмических сигналов: Патент № 142337 (RU) на полезную модель / А. С. Сальников, Т. А. Сальников, А. Н. Шмыков и др. – Приоритет от 04.02.2014, опубл. 27.06.2014. Бюл. № 18.

15. **Шмыков А. Н., Сагайдачная О. М., Сальников А. С.** Автономный высокочастотный сейсмический регистратор: Патент № 161816 (RU) на полезную модель. – Приоритет от 31.12.2015, опубл. 10.05.2016. Бюл. № 13.

16. **A distributed** data recording system as a basis for modem seismic Research Technologies / O. M. Sagaidachnaya, A. V. Sagaidachny, A. S. Salnikov et al. // 69th EAGE Conference & Exhibition, London, Abstracts P187. – London, 2007. – 4 p.

17. **Flavell Smith J.** How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born // FIRST BREAK – An EAGE Publication. – 2006. – February, vol. 24. – P. 79–82.

18. **Heath B.** Land seismic: the move towards the mega-channel // FIRST BREAK – An EAGE Publication. – 2008. – February, vol. 26. – P. 53–58.

19. **Heath B.** Weighing the role of cableless and cable-based systems in the future of land seismic acquisition // FIRST BREAK – An EAGE Publication. – 2010. – June, vol. 28. – P. 69–77.

20. **Mougenot D.** Land cableless systems: use and misuse // FIRST BREAK – An EAGE Publication. – 2010. – February, vol. 28. – P. 55–58.

21. **Seismic** channel basic characteristics for weak signal registration by point group of geophones / O. M. Sagaydachnaya, A. S. Salnikov, A. V. Vershinin et al. // 72th EAGE Conference & Exhibition, Barcelona, Abstracts P292. – Barcelona, 2010.

REFERENCES

1. Vershinin A.V., Sagaydachnaya O.M., Sagaydachny A.V., Salnikov A.S., Shmykov A.N. *Avtonomnaya sistema sbora seysmicheskikh dannykh* [Autonomous system of seismic data acquisition]. Patent RF, no. 103937 (RU), priority of December 22, 2010, published 27.04.2011, bul. no. 12. (In Russ.).

2. Sagaydachnaya O.M., Sagaydachny A.V., Salnikov A.S., et al. [Autonomous recorders ROSA-A for high-precision seismic observations]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Instruments and systems of exploration geophysics*, 2006, no. 2. (In Russ.).

3. Sagaydachnaya O.M., Sagaydachny A.V., Salnikov A.S., Shmykov A.N., Shchegolkov A.V. *Avtonomnyy registrator seysmicheskikh signalov* [Autonomous seismic signal recorder]. Patent RF, no. 2331087 (RU), priority of 09.01.2007, published 10.08.2008, bul. no. 22. (In Russ.).

4. Shmykov A.N., Sagaydachnaya O.M., Sagaydachnyy A.V., Salnikov A.S. *Avtonomnyy registrator seysmicheskikh signalov i ustroystvo av-tomaticheskoy nastroyki i korrektsii taktovoy chastoty avtonomnogo registratora seysmicheskikh signalov* [An autonomous seismic signal recorder and a device for automatic tuning and correction of the clock frequency of an autonomous seismic signal recorder]. Patent no. 2366981 (RU), priority of 08.04.2008, published 10.09.2009, bul. no. 25. (In Russ.).

5. Sagaydachnaya O.M., Salnikov A.S., Sagaydachny A.V., Shmykov A.N. [The ROSA-A cable-free recording system is the technical basis for active and passive seismic monitoring]. *5-ya mezhdunarodnaya vystavka «NEDRA-2008», tezisy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhniko-tekhnologicheskoe obespechenie geologorazvedochnykh rabot. Problemy i perspektivy», 1–4 aprelya 2008 g., Moskva* [The 5th international exhibition "NEDRA-2008", theses of the scientific and technical conference "Technical and technological support of geological exploration. Problems and prospects", April 1–4, 2008, Moscow]. *Ofitsial'nyy katalog VVTs – Official catalog of All-Russia Exhibition Center*. Moscow, 2008. (In Russ.).

6. Ermakov B.D. *Osobennosti registratsii slabykh signalov v seysmorazvedke* [Features of recording weak signals in seismic surveys]. Moscow, AOZT Geoinformmark Publ., 1995. 46 p.(In Russ.).

7. Lipilin A.V., Nikitin A.A., Cheremisina E.N. [Problems of complex interpretation of geophysical data on regional profiles and ways to solve them]. *Geofizika – Geophysics*, 2002, no. 4, pp. 3–6. (In Russ.).

8. Sagaydachnaya O.M., Salnikov A.S., Sagaydachny A.V., Shmykov A.N., Vershinin A.V. [Multidimensional field geometry of the basis of the ROSA® family seismic recorders]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2010, no. 2, pp. 32–33. (In Russ.).

9. Sagaydachnaya O.M., Sagaydachny A.V., Salnikov A.S., Shmykov A.N., Shchegolkov A.V. [The first results of production testing of autonomous ROSA-A recorders in the DSS operations]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Instruments and systems of exploration geophysics*, 2006, no. 4, pp. 43–47. (In Russ.).

10. Salnikov A.S., Sagaydachnaya O.M., Lipilin A.V., et al. [Field seismic surveys on the basic profiles of the northeast of Russia]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Instruments and systems of exploration geophysics*, 2009, no. 2, pp. 46–54. (In Russ.).

11. Sagaydachny A.V., Shmykov A.N. *Beskabel'noe ustroystvo dlya registratsii seysmicheskikh dannykh* [Cable-free device for recording seismic data]. Patent RF, no. 41376 (utility model), priority of 24.05.2004. Published 20.10.2004, bul. no 20. (In Russ.).

12. Sagaydachnaya O.M., Dunaeva K.A., Kanareykin B.A., Salnikov A.S., Shmykov A.N. [Seismic stud-

ies in mines using an autonomous ROSA-A recording system]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Instruments and systems of exploration geophysics,* 2011, no. 4, pp. 40–45. (In Russ.).

13. Shmykov A.N., Vershinin A.V., Sagaydachnaya O.M., Sagaydachny A.V., Salnikov A.S. *Ustroystvo avtonomnoy registratsii seysmicheskikh signalov* [Device for autonomous rerecording of seismic signals]. Patent no. 90223 (RU), priority of 10.09.2009, published 27.12.2009, bul. no. 36. (In Russ.).

14. Salnikov A.S., Salnikov T.A., Shmykov A.N., Sagaydachnaya O.M., Sagaidachny A.V. *Ustroystvo registratsii seysmicheskikh signalov* [Seismic signal recorder]. Patent no.142337 (RU), priority of 04.02.2014, published 27.06.2014, bul. no. 18. (In Russ.).

15. Shmykov A.N., Sagaydachnaya O.M., Salnikov A.S. *Avtonomnyy vysokochastotnyy seysmicheskiy registrator* [Autonomous high-frequency seismic recorder]. Patent no. 161816 (RU), priority of 31.12.2015, published 10.05.2016, bul. no. 13. (In Russ.).

16. Sagaydachnaya O.M., Sagaydachny A.V., Salnikov A.S., Shmykov A.N., Shegolkov A.V. A distributed data recording system as a basis for modem seismic research technologies. *69th EAGE Conference & Exhibition*, *London, Abstracts P187.* London, 2007. 4 p.

17. Flavell Smith J. How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born. FIRST BREAK – An EAGE Publication, 2006, February, vol. 24, pp. 79–82.

18. Heath B. Land seismic: the move towards the mega-channel. *FIRST BREAK – An EAGE Publication*, 2008, February, vol. 26, pp. 53–58.

19. Heath B. Weighing the role of cableless and cable-based systems in the future of land seismic acquisition. *FIRST BREAK – An EAGE Publication*, 2010, June, vol. 28, pp. 69–77.

20. Mougenot D. Land cableless systems: use and misuse. *FIRST BREAK – An EAGE Publication*, 2010, February, vol. 28, pp. 55–58.

21. Sagaydachnaya O.M., Salnikov A.S., Vershnin A.V., Sagaydachny A.V., Shmykov A.N. Seismic channel basic characteristics for weak signal registration by point group of geophones. *72th EAGE Conference & Exhibition, Barcelona, Abstracts P292*. Barcelona, 2010.

© О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников,
А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков, Т. А. Сальников, 2018

УДК (550.834.5.05+550.34.09):553.982(571.51)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА МИКРОСЕЙСМ ПО СЕЙСМОГРАММАМ МОГТ В РАЙОНЕ ПАЙЯХСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е. А. Хогоев[1], Е. Е. Хогоева[1], М. Л. Шемякин[2]

[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А.Трофимука, Новосибирск, Россия; [2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

№ 2(34) ◆ 2018

Приводятся результаты картирования микросейсм по Пайяхскому нефтяному месторождению с использованием сейсмограммам стандартной сейсморазведки. Расчеты по различным наборам данных дают устойчивую картину распределения микросейсмической активности по площади. Обнаруженные аномальные зоны преобладания частот в диапазоне 40–160 Гц близки к карте распределения атрибута AVO; две зоны соответствуют известным ловушкам УВ. Разработанная технология анализа микросейсмического шума может использоваться при поисках литологических залежей нефти как дополняющая и верифицирующая другие методы, основанные на использовании сейсмических атрибутов.

Ключевые слова: *сейсморазведка, спектр микросейсм, прогноз нефтегазовых залежей.*

RESULTS OF NUMERICAL MICROSEISM ANALYSIS ON CDP SEISMOGRAMS IN THE AREA OF PAIYAKHSKOE OIL FIELD

E. A. Khogoev[1], E. E. Khogoeva[1], M. L. Shemyakin[2]

[1]Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia; [2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

The article presents the results of microseisms mapping in the Paiyakhskoe oil field using seismograms of standard seismic survey. Calculations on different data sets give a stable picture of the distribution of microseismic activity over the area. The observed anomalous zones of frequency predominance in the range for 40 to 160 Hz are close to the AVO attribute distribution map; the two anomalous zones that the authors observed correspond to the well-known HC traps. The developed technology for the analysis of microseismic noise can be used in the search for lithological oil deposits as complementary. It can also verify other methods based on the use of seismic attributes.

Keywords: *seismic exploration, microseism spectrum, forecast of oil and gas pools.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-93-99

На протяжении последних десятилетий, прошедших со времени повсеместного внедрения МОГТ, задачи нефтяной сейсморазведки заключались в построении временных (глубинных) разрезов и картировании отражающих горизонтов. Однако успешность бурения разведочных скважин в последнее время не растет, оставаясь менее 35 % [6], несмотря на огромные объемы данных, получаемых в ходе 3D-съемки, и все более совершенные алгоритмы их обработки. Очевидно, задача состоит не только в оконтуривании ловушки возможного скопления нефти и газа, но и в дополнительном изучении типа флюидосодержания и открытой трещиноватости геологической среды.

В работе О. Л. Кузнецова и др. [4] выдвинуто обоснование новой методологии сейсморазведки. Она заключается в комплексировании сейсмических технологий МОГТ, СЛОЭ (сейсмолокации очагов эмиссии) и СЛБО (сейсмического локатора бокового обзора), использующих волны разных классов. Это позволяет получить независимую и более полную информацию о строении ловушки, неоднородности и неравномерности флюидонасыщения, распределении открытой трещиноватости в коллекторе. Утверждается, что эмиссионное поле несет информацию о типе флюидонасыщения, а поле рассеянных волн имеет аномалии в зонах открытой трещиноватости. Применение технологий СЛБО или СЛОЭ в полном объеме требует проведения специальных полевых работ; однако у авторов есть опыт использования подходов СЛБО к переобработке данных МОГТ 2D и 3D.

За рубежом также проявляется интерес к этому подходу, в частности при поиске волн микросейсмической эмиссии в данных активной сейсмики в поздней части сейсмической записи (после прохода первичных волн PP, PS и SS) [10].

В наших работах с 2006 г. развивается направление, которое также заключается в использовании данных МОГТ для картирования аномалий спектров эмиссионных микросейсм и поиску связи их характеристик с нефтегазовыми залежами и блочным строением среды [1, 2, 7, 9]. Данными служат различные отрезки трасс с большими удалениями от источника – как до вступления первых волн, так и поздние времена записи (от 3,5 с записи), что близко к подходу, описанному в [10], с тем отличием, что его авторы исследуют следы эмиссии непосредственно в волновом поле.

В предлагаемой статье излагаются результаты применения разработанной методики в районе известного Пайяхского месторождения.

Пайяхское месторождение нефти

Географически месторождение расположено на западе Таймырского АО, в 130 км к северо-за-

паду от г. Дудинки. В геологическом отношении эта территория является составной частью Енисей-Хатангской нефтегазоносной области, перспективы которой оцениваются очень высоко [3, 5].

В Енисей-Хатангском региональном прогибе нефтегазоконденсатные залежи открыты в юрских и меловых отложениях. Ранее сейсморазведочные работы здесь были нацелены на поиск локальных поднятий и связанных с ними месторождений УВ, поэтому практически все разведанные залежи приурочены к локальным поднятиям. Исследования, проведенные в 1999–2010 гг. группой сотрудников СНИИГГиМС под руководством А. В. Исаева показали, что открытие новых нефтяных месторождений ожидается прежде всего в неантиклинальных ловушках – литологических телах (песчаниках), залегающих на достаточно крутой моноклинали

Пайяхское месторождение открыто в 1990 г. На Пайяхском поднятии заложена скв. Пх-1, залежь обнаружена в отложениях, характеризующихся моноклинальным залеганием. Здесь был получен фонтанный приток нефти свыше 30 м^3/сут из двух маломощных (до 4 м) пластов, залегающих в подошве меловых отложений на глубине 3420–3436 м. В дальнейшем в пределах выявленной структуры были пробурены еще три скважины (Пх-2, Пх-3, Пх-4) и только в скв. Пх-2 были получены незначительные притоки нефти (2,4 м^3/сут) из маломощных (чуть более 1 м) пластов.

Поиск и оконтуривание литологических объектов по данным сейсморазведки основывается прежде всего на изучении динамических характеристик сейсмической записи – AVO-анализ (рис. 1) [5]. На основании полученных данных была заложена скв. Пх-6, вскрывшая два пласта нефтенасыщенных песчаников с эффективной мощностью коллектора 13,5 и 4,0 м, из которых получен приток нефти до 24 м^3/сут.

В Пайяхской и Северо-Пайяхской ловушках открыты залежи нефти с извлекаемыми запасами категорий C_1+C_2 более 100 млн т, что позволяет отнести месторождение к разряду крупных. В 2012 и 2014 гг. в пределах Северо-Пайяхской ловушки пробурены две разведочные скв. Пх-7 и Пх-8, ко-

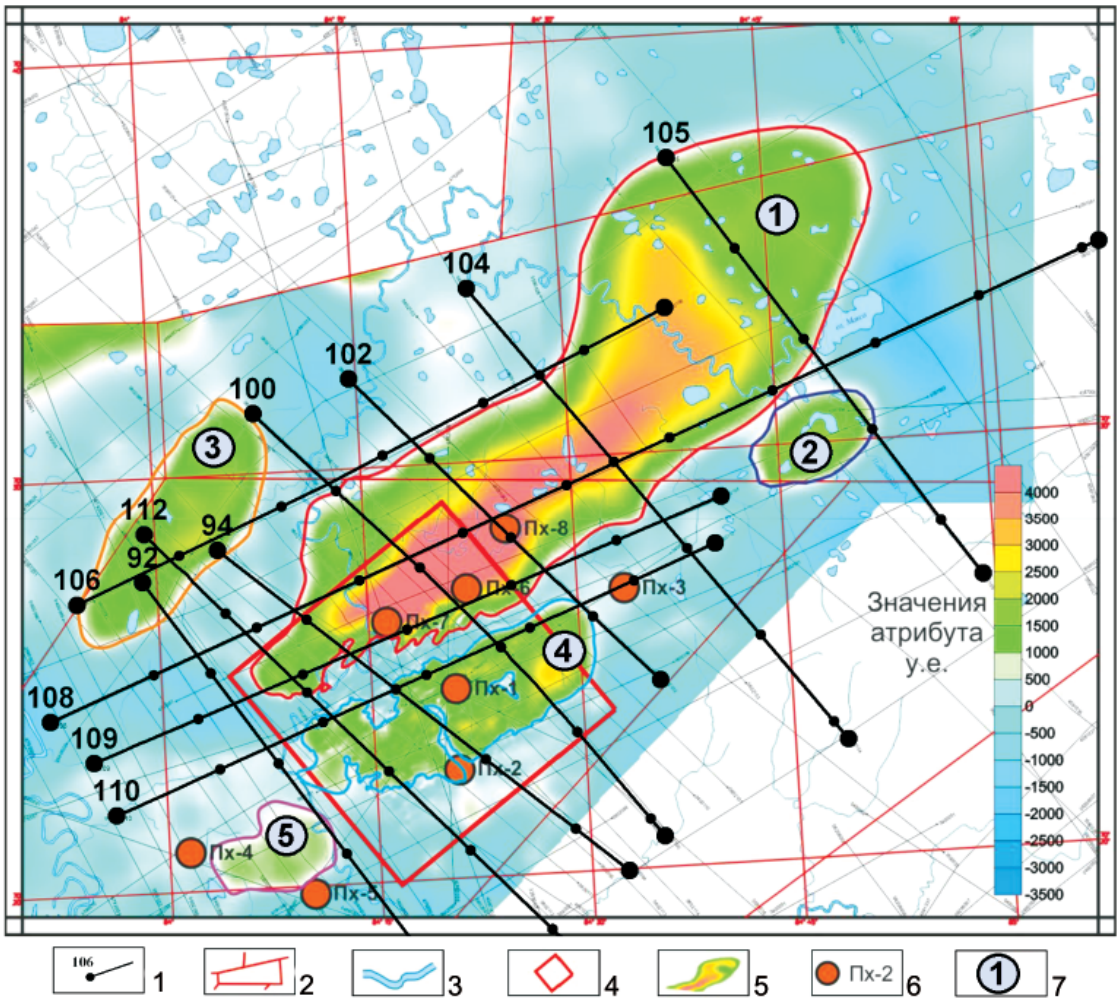


Рис. 1. Карта литологических ловушек Пайяхской площади

1 – сейсмические профили; 2 – границы лицензионных участков; 3 – гидросеть; 4 – 3D съемка; 5 – комплексные аномалии AVO-атрибутов сейсмической записи в интервале отражающих границ перспективных пластов; 6 – поисковые скважины, законченные бурением, их номера; 7 – ловушки (1 – Северо-Пайяхская, 2 – Восточно-Пайяхская, 3 – Западно-Пайяхская, 4 – Пайяхская, 5 – Южно-Пайяхская)

торые вскрыли по три нефтенасыщенных пласта с суммарной эффективной мощностью коллектора более 70 м. Пайяхская нефть отличается высоким качеством, плотностью не более 826 кг/м^3 и малым содержанием серы – менее 0,12 %.

Методика обработки данных

С целью поисков новых прогнозных признаков нефтяных залежей нами проведена переобработка данных сейсморазведки по Пайяхской площади для микросейсмического ее районирования и увязки спектральных аномалий с известными месторождениями. Метод анализа спектров микросейсм по сейсмограммам стандартной сейсморазведки основывается на построении осредненного спектра микросейсм по профилю. Для этого из волнового поля сейсмограмм отбираются участки трасс, где либо отсутствуют волны от взрыва, либо их влиянием на фоновые микросейсмы можно пренебречь.

На первом этапе развития этой технологии было принято использование исключительно начальных участков трасс до первых вступлений волн от взрыва. При удалении от источника более чем на 1,5–2 км (в зависимости от скоростного разреза) приблизительно первые полсекунды записывается микросейсмический шум, конечно, вместе с техногенными и природными помехами. При типичном интервале дискретизации 2 мс мы получаем выборку из 256 отсчетов, удобную для применения быстрого Фурье-преобразования. Интервал дискретизации спектра при этих условиях составляет около 2 Гц, что дает удовлетворительную разрешенность по частоте.

Следующим шагом в развитии технологии анализа микросейсмического шума является использование участков сейсмотрасс с поздними (более 3,5 с) временами регистрации (по мере ослабления волн от источника) для изучения эмиссионного поля среды, возбужденной взрывным воздействием [7–9] (рис. 2).

После отбраковки трасс, на которых среднеквадратичная амплитуда сигнала существенно превышает среднюю фоновую, по известному критерию 3σ по каждой трассе рассчитывается амплитудный спектр. Затем спектры усредняются в каждой точке приема. Полученный в результате осредненный спектр микросейсм выводится в виде, аналогичном временному разрезу (рис. 3), где по горизонтали откладываются координаты профиля, по вертикали – частота, а значение амплитудного спектра, нормированное на наибольшее значение на профиле и выраженное в процентах, кодируется цветом. При сейсморазведочных работах методом многократных перекрытий запись в каждой точке приема производится десятки раз, что дает нам возможность накопить представительную выборку для осреднения. На основе полученных осредненных спектров микросейсм строятся спектральные характеристики

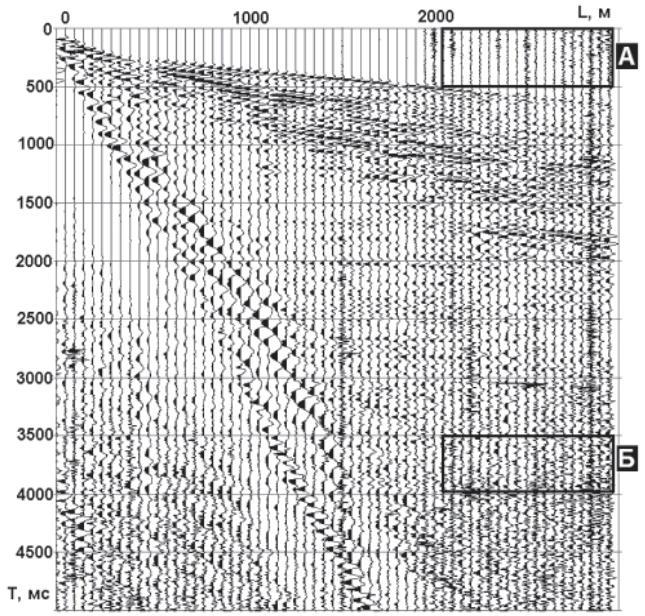


Рис. 2. Пример сейсмограммы с выделенным окном анализа микросейсм: А – до первых вступлений, Б – после прохождения первичных волн от взрыва; визуализация с применением АРУ

(интервальный спектр в заданном частотном диапазоне по профилю) либо удельный спектр (отношение суммы спектра в заданном интервале частот к сумме всего спектра). Рассчитываемые числовые характеристики привязываются к точкам приема, имеющим площадные координаты. Это дает основу для построения карт той или иной спектральной характеристики по площади (при наличии серии профилей 2D или 3D съемки).

Основными чертами данной технологии, реализованной в пакете программ «SanMcs» [8], являются: а) использование данных стандартной сейсморазведки МОГТ; б) способ отбраковки случайных выбросов на записях; в) построение осредненных спектров по профилю, расчет интервальных значений спектра; г) способы подготовки данных для построения карт при площадных работах.

Из имеющегося опыта обработки полевых материалов мы можем сделать вывод, что расчет спектров микросейсм по началу трасс до первых вступлений и расчет по поздним временам дают схожие результаты. Второй вариант предпочтительнее, так как опытным путем установлено, что отношение значений обнаруживаемых спектральных аномалий в области экстремума к средним значениям за пределами аномалии в этом случае в 2 раза выше, чем в первом варианте, т. е. увеличивается контрастность. Кроме того, слабые аномалии в первом варианте могут быть неразличимы на фоне техногенных помех.

Опробование развиваемого метода прогноза месторождений по микросейсмам в условиях данной площади особенно интересно, поскольку в рассматриваемом случае мы имеем дело с залежью неструктурного типа. Выявление месторожде-

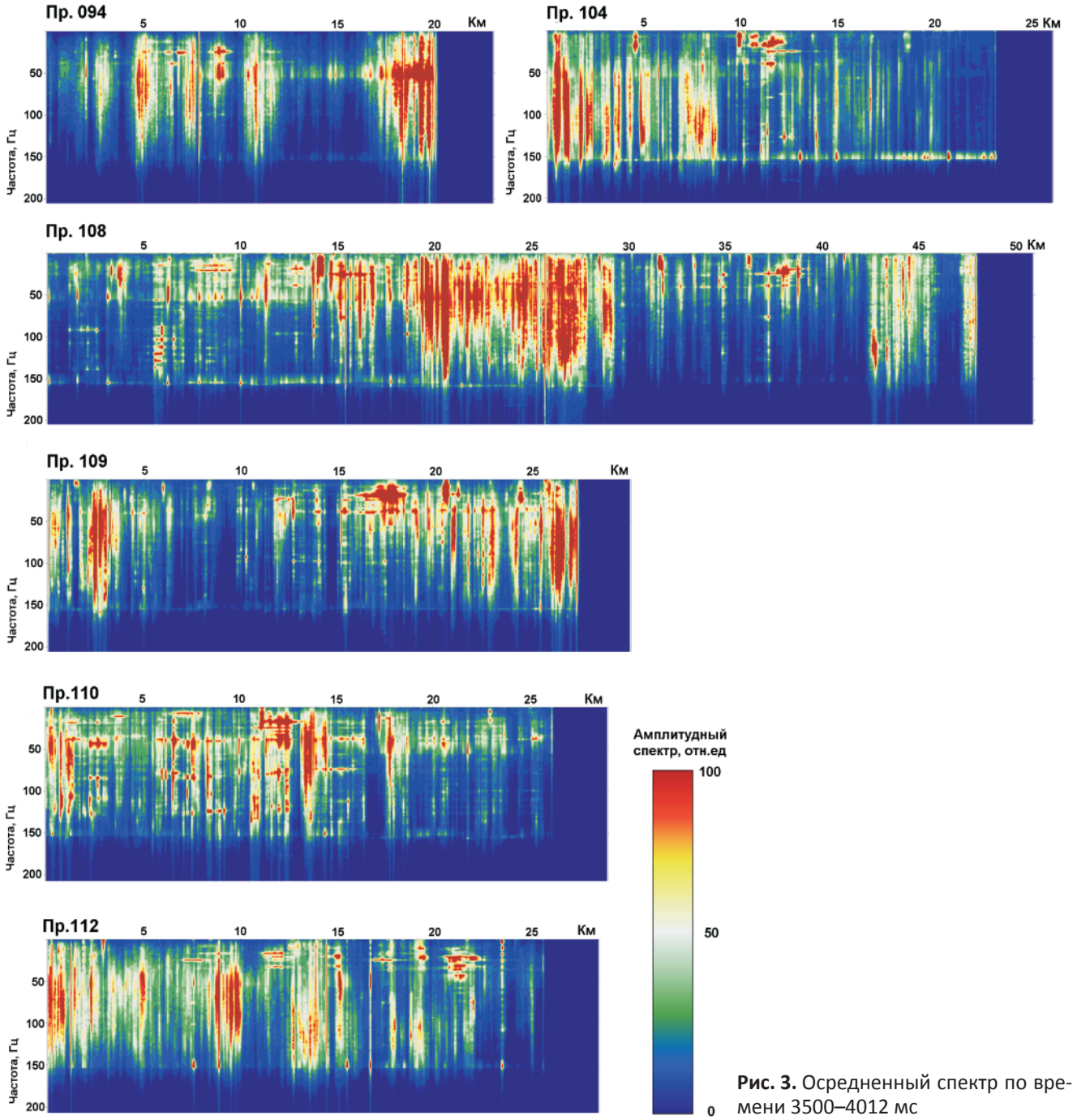


Рис. 3. Осредненный спектр по времени 3500–4012 мс

ния в этих условиях становится важным аргументом в пользу применения спектров микросейсм в нефтегазовой сейсморазведке. Кроме того, особенностью полевого материала является то, что данные сейсморазведки получены в условиях присутствия мощного (около 300 м) слоя многолетнемерзлых пород, который может оказывать существенное влияние на спектры микросейсмических колебаний.

Наш анализ проводился по сейсмическим профилям МОГТ №№ 0602092, 0602094, 0602100, 0602102, 0602104, 0602105, 0602106, 0602108, 0602109, 0602110, 0602112, проходящим по Пайяхской площади. Схема отобранных профилей приведена на рис. 1. Для краткости в номерах профилей, помещенных в их начале, опущены первые четыре цифры. Точки на профилях расположены через 5 км.

Результаты обработки

Для анализа спектров микросейсм из сейсмограмм отбираются участки трасс с удалением источник – приемник более 2 км с различным начальным временем регистрации на трассе. Спектр рассчитывается по каждой трассе в интервале 256 отсчетов (приблизительно 0,5 с) и в дальнейшем усредняется в каждом пункте приема.

Расчеты проведены отдельно для трех интервалов времени: а) в начале трассы (0–512 мс); б) после прохода основной части волн от источника (3500–4012 мс); в) в конце трассы (4488–5000 мс).

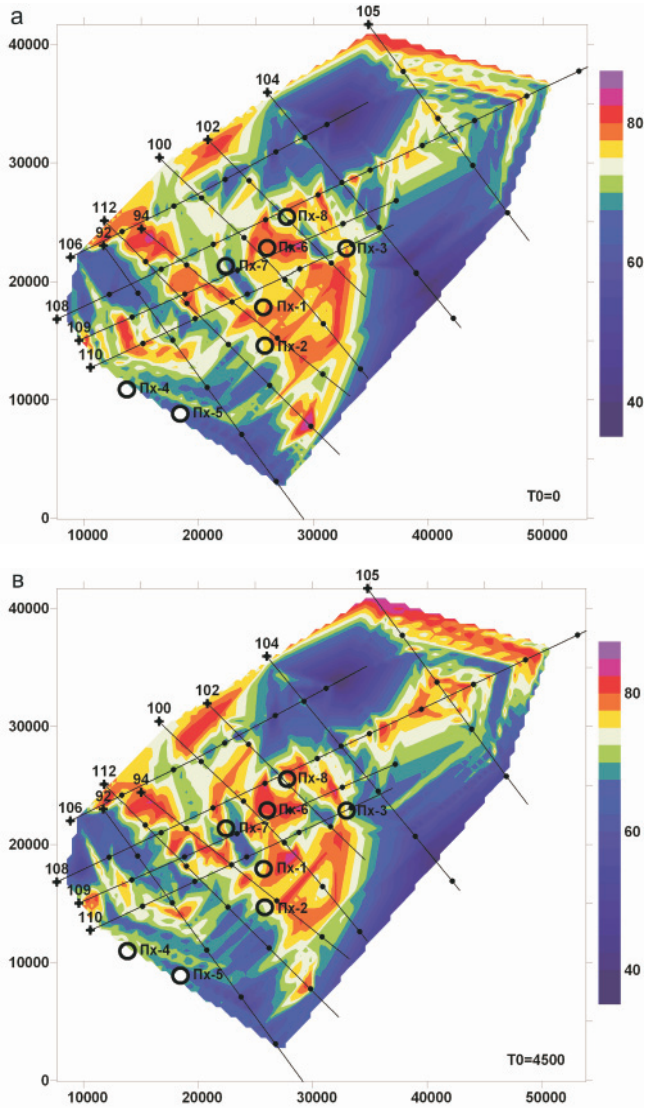


Рис. 4. Карта удельной части спектра в диапазоне 40–160 Гц от спектра (40–250 Гц), %; шкала при времени окна анализа: а – от 0 мс; б – от 3500 мс; в – от 4488 мс; по осям – координаты локальной площадной системы координат

Мы приводим осредненные спектры по нескольким профилям (рис. 3), пересекающим перспективную часть площади. Общим для спектров в данном случае является практически полное отсутствие низкочастотной составляющей: до 40 Гц можно отметить только отдельные техногенные помехи. Основная часть спектра локализуется в области 40–160 Гц. Мы предполагаем, что такое распределение аномальных частот связано с присутствием мощной зоны многолетнемерзлых пород, а также с характером коллектора, который представлен здесь песчаником.

Профили 108, 109 и 110 практически параллельны, они отстоят друг от друга на 3 км. На пр. 108 аномалия (частоты до 160 Гц) прослеживается с 15 до 28 км, с периодическими усилениями. На пр. 109 наблюдается техногенная помеха от Пайяхской скв. 6 на ПК 17–18 км. Можно определить наследование аномалии на тех же пикетах, что и пр. 108, но существенно меньшей контрастности. На следующем пр. 110 контрастных аномалий не отмечается.

Как указывалось, аномалии отличаются высокими частотами. Кроме того, спектр, рассчитанный по началу трасс, слабо отличается от спектров, рассчитанных по другим интервалам времени.

Микросейсмическое районирование площади

С учетом известных особенностей спектров проведем районирование площади по следующему параметру. Будем определять отношение (S) суммы спектра микросейсм в интервале 40–160 Гц к таковой в интервале 40–250 Гц. Отбрасывая низкие частоты, мы ставим задачу исключить влияние шума от скважин и иных видимых на рис. 3 локальных техногенных помех или уменьшить его. Для сравнения построим три карты S по расчетам в трех временных окнах: 0–512, 3500–4012 и 4488–5000 мс (рис. 4, а–в).

Расчеты по различным наборам данных показывают устойчивую картину распределения микросейсмической активности по площади. Основная часть микросейсмических аномалий заключена между пр. 112 и пр. 104 в центральной части площади. Карты, построенные на данных по началу и концу трасс, (T_0 = 0 мс и T_0 = 4488) практически неотличимы. Карта, построенная по времени от 3500 мс, представляет более локализованное рас-

пределение аномальных зон. Так, на ней Пайяхская и Северо-Пайяхская ловушки разделены.

Наиболее информативны шумы, выделенные на пр. 108, (ПК 15–28 км). Небольшая аномалия пр. 94 (ПК 5–8 км) также может представлять интерес.

Все скважины (Пайяхские 1, 2, 6, 7, 8), вскрывшие нефтенасыщенные пласты, расположены в пределах аномальной зоны, а скв. Пх-2 и 6 – в области максимальных значений.

Области, выделенные синим цветом на наших картах, мы считаем неперспективными для поисков месторождений.

Обратившись к карте распределения атрибута AVO (см. рис. 1) [3], можно убедиться, что две выделенные ловушки близки и соответствуют обнаруженным нами аномальным зонам. Западно-Пайяхская ловушка в основном находится за пределами площадки, покрытой имеющимися профилями. Только пр. 112 в самом начале (0–2 км) пересекает ее, и можно видеть следы аномалии (см. рис. 3).

Исходя из результатов обработки данных по Пайяхской площади, можно сделать вывод, что метод анализа микросейсм позволяет выделить перспективные на нефтеносность зоны, близкие по положению к зонам, определенным по результатам AVO-анализа. Отметим, что число профилей в нашей обработке в несколько раз меньше, чем при обработке по AVO-анализу, что сказывается на детальности прогноза.

Таким образом, наш метод может использоваться при поисках литологических залежей нефти как дополняющий и верифицирующий другие методы, основанные на использовании сейсмических атрибутов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ведерников Г. В., Хогоев Е. А.** Прогноз залежей УВ по характеристикам микросейсм при сейсморазведочных работах МОГТ // Сб. матер. Междунар. науч. конгр. «Гео-Сибирь – 2007», Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г. – Новосибирск, 2007. – С. 179–183.

2. **Ведерников Г. В., Хогоев Е. А.** Уточнение блоковых моделей залежей углеводородов по характеристикам микросейсм // Сб. матер. 10-й геофизич. науч.-практ. конф. Тюмень-ЕАГО, Тюмень, 29–30 ноября 2006 г. – Тюмень, 2006. – С. 17–22.

3. **Исаев А. В., Кринин В. А., Карпухин С. М.** Перспективы нефтегазоносности клиноформного комплекса Енисей-Хатангского регионального прогиба // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10, № 3. – Точка доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2015.pdf.

4. **Комплексирование** сейсмических волн разного класса для поиска и разведки месторождений углеводородного сырья (новая методология сейсморазведки) / О. Л. Кузнецов, А. А. Радван, И. А. Чиркин и др. // Технологии сейсморазведки. – 2016. – № 3. – С. 38–47.

5. **Перспективные** нефтегазоносные объекты клиноформного комплекса Енисей-Хатангского регионального прогиба: результаты сейсмогеологического моделирования / А. В. Исаев, В. А. Кринин, Ю. А. Филипцов и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2011. – № 2. – С. 74–82.

6. **Тимурзиев А. И.** Современное состояние практики и методологии поисков нефти – от заблуждений застоя к новому мировоззрению прогресса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 11. – С. 20–31.

7. **Хогоев Е. А.** О связи среднечастотных микросейсм с газовой залежью // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2014. – С. 138–142.

8. **Хогоев Е. А.** Программа для ЭВМ «SanMcs»: Свид-во о прогр. № 2008613961, опубл. 19.08.08. – М.: Роспатент, 2008.

9. **Хогоев Е. А.** Технология изучения геодинамических шумов в нефтегазовых залежах // Сейсмические исследования земной коры: Сб. докл. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 23–25 ноября 2009 г.). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – С. 203–208.

10. **Batta G. K., Singh S. N.** Microseismic evidences in active seismic data: resonant near infrasonic micro-seismic emission as direct hydrocarbon indiator (DHI) (A case study from Upper Assam Basin, India) // 10th Biennial International Conference and Exposition on the theme «Changing Landscapes in Geophysical Innovations» on 23–25 November 2013. – Kochi, 2013. – P182. – 8 p.

REFERENCES

1. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [Forecast of HC deposits based on microseism characteristics during CDP seismic surveys]. *Sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa "Geo-Sibir'–2007", Novosibirsk, 25–27 aprelya 2007g.* [Collection of materials of the international scientific congress "Geo-Siberia-2007"]. Novosibirsk, 2007, pp. 179–183. (In Russ.).

2. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [Refinement of block models of hydrocarbon deposits by microseism characteristics]. *Sbornik materialov 10-y geofizicheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Tyumen'EAGO, Tyumen', 29–30 noyabrya 2006* [Collected materials of the 10th geophysical scientific and practical conference Tyumen EAGO]. Tyumen, 2006, pp. 17–22. (In Russ.).

3. Isaev A.V., Krinin V.A., Karpukhin S.M. [Prospects of oil and gas potential of the clinoform complex of the Yenisei-Khatanga regional trough]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Oil-and-Gas Geology. Theory and practice,* 2015, vol. 10, no. 3. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2015.pdf. (In Russ.).

4. Kuznetsov O.L., Radvan A.A., Chirkin I.A., Rizanov E.G., Koligaev S.O. [Various combinations of seismic waves of different class in prospecting and exploration for hydrocarbon deposits (new seismic survey methodology)]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic technologies,* 2016, no. 3, pp. 38–47. (In Russ.).

5. Isaev A.V., Krinin V.A., Filiptsov Yu.A., Karpukhin S.M., Sklyarov V.R. [Potential oil and gas bearing objects in the clinoform complexes of the Yenisei-Khatanga regional trough: results of seismic-geological modeling]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2011, no. 2, pp. 74–82. (In Russ.).

6. Timurziev A.I. [The current state of practice and methodology of oil exploration – from delusions of stagnation to a new worldview of the progress]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, geophysics and development of oil and gas fields,* 2010, no. 11, pp. 20–31. (In Russ.).

7. Khogoev E.A. [On the connection of medium-frequency microseisms with a gas reservoir] *Interekspo GEO-Sibir'-2014. X Mezhdunar. nauch. kongr., 8–18 aprelya 2014 g., Novosibirsk: Mezhdunar. nauch. konf. «Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Geoekologiya»: Sb. materialov v 4 t.* [Interexpo GEO-Siberia-2014. X Intern. Sci. Congress, April 8–18, 2014, Novosibirsk: Intern. Sci. Conf. "Subsoil use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Geoecology": Col. materials in 4 vols]. Novosibirsk, 2014, SGGA Publ., vol. 3, pp. 138–142. (In Russ.).

8. Khogoev E.A. *Programma dlya EVM «SanMcs»* [SanMcs computer program] Certificate no. 2008613961, published 19.08.08. Moscow, Rospatent, 2008. (In Russ.).

9. Khogoev E.A. [Technology for studying geodynamic noise in oil and gas deposits]. *Seysmicheskie issledovaniya zemnoy kory: Sb. dokl. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (Novosibirsk, 23–25 noyabrya 2009 g.)* [Seismic studies of the earth's crust: Col. rep. All-Russian Scientific Conference (Novosibirsk, November 23–25, 2009)]. Novosibirsk: IPGG SB RAS, 2011, pp. 203–208. (In Russ.).

10. Batta G.K., Singh S.N. Microseismic evidences in active seismic data: resonant near infrasonic microseismic emission as direct hydrocarbon indiator (DHI) (A case study from Upper Assam Basin, India). *10th Biennial International Conference and Exposition on the theme «Changing Landscapes in Geophysical Innovations» on 23–25 November 2013*. Kochi, 2013, P182, 8 p.

© Е. А. Хогоев, Е. В. Хогоева, М. Л. Шемякин, 2018

№ 2(34) ♦ 2018

УДК 553.2:(551.1+52)

ОТКУДА НА ЗЕМЛЕ ПОЯВИЛИСЬ РУДЫ, ИЛИ НЕОБЫЧНОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ МЕРКУРИЯ ПО ВОЛЕ БАРОНА МЮНХГАУЗЕНА (НАУЧНАЯ ФАНТАЗИЯ)

В. С. Бочкарев

Сибирский научно-аналитический центр, Тюмень, Россия

В юмористической форме с участием барона Мюнхгаузена обсуждается главная проблема геологии: откуда на Земле появились руды и полезные ископаемые, генезис которых определяет их перспективы и методы поиска. Эта задача решается на фоне модели формирования Земли как планеты Солнечной системы. За основу приняты главные особенности системы, которые ускользали от внимания астрофизиков: 1) четкое деление планет на две группы – земного типа (плотные, но «маленькие») и газовые гиганты, 2) четкое квантование всех орбит и их эллипсоидность, 3) закон разлета планет (произведение массы планеты на ее расстояние до второй звезды, предположительно располагавшейся между Юпитером и поясом астероидов, – величина, в среднем одинаковая для планет каждой группы). Строение Земли принято исходя из утверждения акад. В. Е. Фортова: ядро является плазменным, а не жидким. Считается, что ударная волна при взрыве двойной звезды сорвала ее газовую оболочку и сформировала Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, также за счет увеличения температуры привела к формированию тяжелых химических элементов ряда железо – уран – торий, которые вызвали коллапс второй звезды и ее взрыв, превративший ее в нейтронную звезду или белый карлик. Этот взрыв привел к появлению плотных планет второй группы. Вторая звезда располагалась в районе второго фокуса эллипсоидов.

Ключевые слова: *рудные полезные ископаемые, Земля, двойная звезда, Солнечная система.*

FROM WHENCE ORES APPEARED ON THE EARTH OR UNUSUAL JOURNEY OF MERCURY AT THE PLEASURE OF BARON MÜNCHHAUSEN (SCIENTIFIC FANTASY)

V. S. Bochkarev

Siberian Scientific and Analytical Center, Tyumen, Russia

The article discusses the main problem of geology humorously on behalf of Baron Münchhausen, i. e. from where ores and minerals, which genesis determines their prospects and methods of prospecting, came on the Earth. This problem is solved against the background of the Earth's formation model as a primary planet. The main features of the Solar system, which eluded astrophysicists, are taken as a basis. First, a distinct division of the planets into two groups, namely, dense but "small" planets of the Earth's group and gaseous giants. Another peculiarity is an efficient quantization of all orbits and their ellipsoidal forms. Third, is the product of planet mass by its distance to another supposed star being situated between Jupiter and the asteroid belt, the value, on average, equal for planets of every group. Academician V.E.Fortov's statement that the core is plasma rather than liquid forms the basis of the Earth's structure. It is believed that a shock wave in the first explosion of a binary star disrupted their shells of gas and formed the planets of Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune. That shock wave, due to an increase in temperature, led to the formation of heavy chemical elements such as iron-uranium, which caused the collapse of a second star and its repeated explosion evolving to a neutron star or a white dwarf. The second explosion brought into existence dense planets of another group.

Keywords: *ore mineral resources, Earth, binary star, Solar System.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-100-103

Барон Мюнхгаузен, как известно, предпочитал путешествия на пушечном ядре, причем в обе стороны. Это давало ему возможность производить тщательную разведку в разгар боя. Но в этот раз, еще находясь в России, он, побывал на лекции известного учителя из Калуги и увлекся космологией, так как узнал, что все планеты, подобно пушечному ядру, тоже движутся, но с огромной скоростью. «Надо эту скорость как-то использовать», – подумал барон и стал рыться в справочниках. Он не просто увлекся новой наукой, а заболел ею, попутно узнав от Канта и Лапласа, что все планеты и Солнце возникли из пыли, называемой туманностью. Эта туманность странным образом стала вращаться против часовой стрелки и… планеты посыпались одна за другой. Последним небесным телом было Солнце. «Это невероятно, что из пыли на Земле сформировались руды Алтая и Урала, – считал барон. – А золото, – продолжал он философствовать, – разве из пыли его получишь? Даже академик Усов был бы против такой модели».

«Странно, – размышлял он далее, – часть планет – газовые гиганты, а часть – маленькие, но плотные тела – всего-то около 5,5 г/см^3. Почему же они образуют отдельные группы, а не летают вперемешку?». Кроме того, в каждой группе действует закон: чем дальше планета от пояса астероидов, например, Сатурн или Уран, тем меньше ее масса. Вот

Венера меньше Земли, а Меркурий – тот вообще всего 0,055 а. е. от массы Земли. Даже масса самого удаленного Плутона, хоть он, как говорят, и не планета, относительно Земли всего в 0,11 а. е. Несомненно, в этом участвовал бог-творец, а не космическая туманность. Туманности, судя по сверхновым звездам, как раз разлетаются, а не концентрируются вокруг звезды.

Как сказал Циолковский в одной из своих лекций, человечество любопытно и обязательно отправится на Марс. «Марс – это наиболее удаленная от Солнца плотная планета земного типа, и там, следовательно, не будет так жарко, как в Африке, где есть пустыня Сахара. Туда как раз мой друг детства – Тартарен из Тараскона – собирается отправиться на охоту, за львами конечно», – рассудил барон.

Он был человеком образованным и из Интернета знал, что один из типов коллайдеров позволяет заглянуть в будущее, так, на всякий случай – вдруг получится узнать что-то новое о Вселенной. Проделав нехитрые действия, барон наткнулся на советский фильм военных времен «Здравствуй, Москва» и услышал песню про кирпичики. В этом фильме детей из ремесленного училища обучали сталеварению. Один сталевар – мастер высочайшего класса – ловко рукой перешибал струю жидкой стали и не обжигался.

Барон неожиданно вспомнил космологию и формулы А. Эйнштейна, согласно которым, при скорости света тела искривляют пространство, а свойства материи меняются. Теперь все ясно: сталевар махнул рукой со скоростью, близкой к 300 000 км/с… нет, пожалуй, не совсем так. В гравитационной постоянной, равной 6,673, имеется параметр времени – 10^{-8} с. Значит, рука сталевара рассекала струю стали со скоростью 10^{-8} см/с… Итак, со сталеваром вроде все ясно. Но ведь он имел дело всего лишь с жидким металлом…

А если обратиться к планетам и посмотреть, нет ли при их формировании что-либо подобного? Как вели себя планеты при скоростях, близких к скоростям света? Может быть, поэтому у нас вокруг Солнца вращаются планеты двух типов?

В замечательном журнале «Наука и жизнь» за 2016 г. барон прочитал, что В. Е. Фортов подчеркивал особую роль ударных волн в деле изучения микрочастиц. Кроме того, он знал, что М. А. Садовский [4] вывел закон распределения обломков, образующихся при взрывах. Наша планета изобилует примерами катастроф взрывного типа – извержения вулканов, глубокофокусные землетрясения, образование кимберлитовых трубок и т. п. А в Западной Сибири при изучении нефтеносных территорий были выявлены особые периодические очаги тектоногидротермальной активизации, в которых молодые цирконы с возрастом 20–180 млн лет содержат аномально высокие концентрации урана в цирконах, а еще там выявлены взрывные (?) геосолитоны (рис. 1). Значит, появилась возможность использовать и взрывные идеи в концепции происхождения Земли и всей Солнечной системы [1, 2].

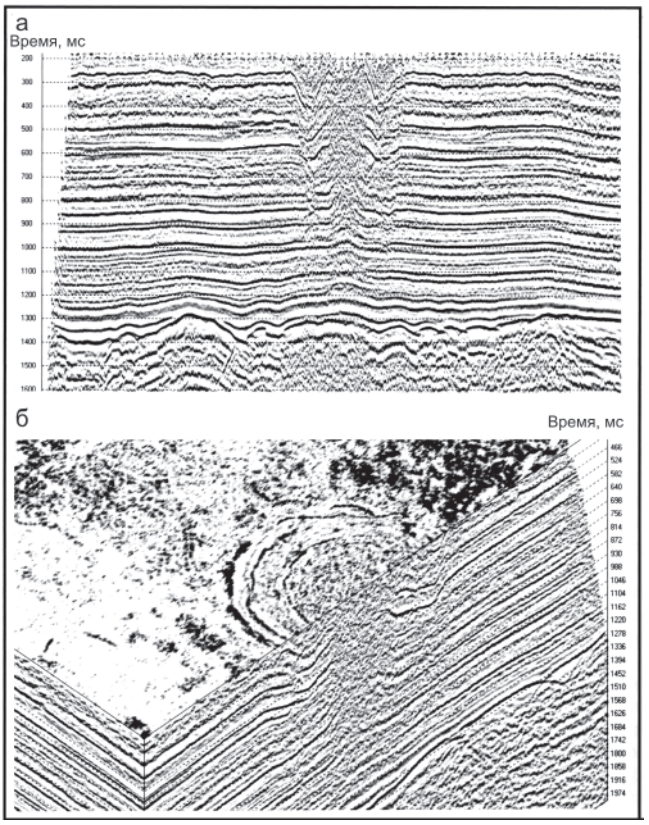


Рис. 1. Вертикальное сечение волнового поля вблизи осевой части геосолитонной трубки (а) и композиция горизонтального и вертикального сечения (б) [3]. Западная Сибирь

Из справочников барон узнал, что сила, действующая на планеты, пропорциональна массе планеты и расстоянию до нее. Он понял, почему Плутон так далек и от Юпитера, и от Земли: у него небольшая масса, всего 0,11 от массы Земли (рис. 2).

Барон заметил, что сила разлета планет каждой группы, возникшая при взрывах, $F \approx mL$, где L – расстояние почти от пояса астероидов до планеты своей группы. Эта величина у газовых гигантов вроде Юпитера или Нептуна близка к 500, а у планет земной группы – всего 4, в том числе и у Плутона. Барон построил график геодинамики планет и модель вероятного положения планет приблизительно 5 млрд лет назад (рис. 3). Барон принял массу Земли за 1 и рассчитал, что для Венеры $F = mL \approx 0{,}827$, ведь масса Венеры меньше, чем Земли. Но барон был человек не простой, а очень дотошный, потому стал измерять расстояние до планет земной группы не от Солнца, а от Юпитера, поскольку Юпитер был самой крупной из планет.

Затем барон, будучи человеком целеустремленным, вернулся к размышлениям о планетах. «Итак, – рассуждал он – Земля от Юпитера согласно Большой Советской энциклопедии находится на расстоянии 5,203 – 1 = 4,203 а. е. А Венера? А Венера удалена от него на расстояние 5,203 – 0,723 = 4,480 а. е., и следовательно, сила разлета

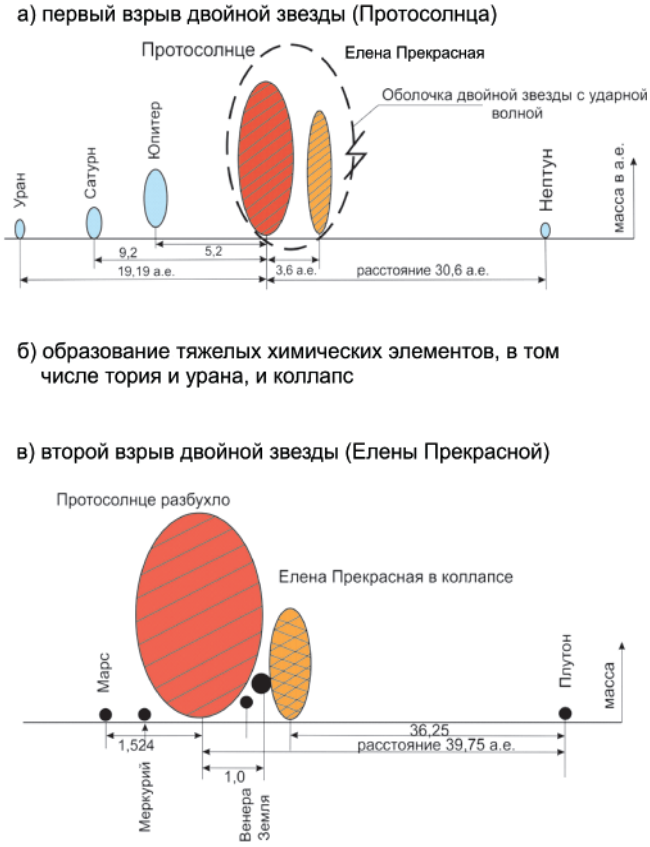


Рис. 2. Этапы формирования Земли и других планет Солнечной системы

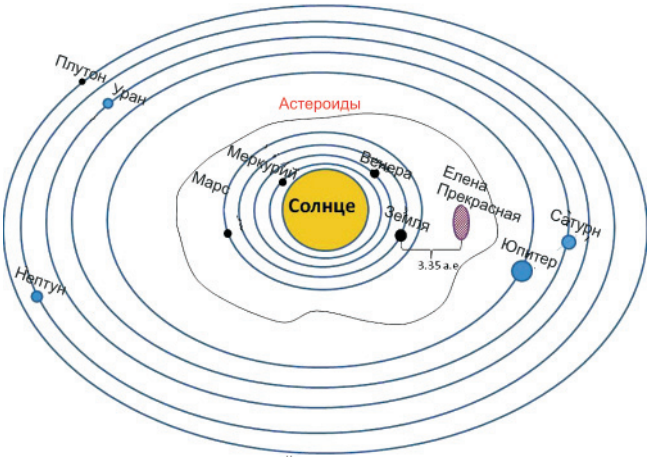


Рис. 3. Схема Солнечной системы около 5 млрд лет назад

планет равна 3,8, у Земли же – 4,2. Почти одинаковая! Значит, и у Меркурия должна быть такая же».

Он снова заглянул в соответствующий том БСЭ и узнал, что масса Меркурия составляет 0,055 долей от массы Земли, а находится он на расстоянии 5,203 – 0,327 = 4,876 от Юпитера. «Вот! – подумал барон. – Чем дальше планета от Юпитера, тем меньше ее масса, все по Ньютону!» Тут же он рассчитал F = mL и получил 0,26763. Что-то тут было не то. Барон снова посмотрел на график, на этот раз поместив Меркурий позади Солнца, и расстояние между Юпитера и Меркурием получилось больше – 5,53. Затем он снова рассчитал F для Меркурия, которое оказалось 0,38415. Ну, вот, вроде увеличилось, но все же осталось в 10 раз меньше, чем надо.

«В чем же дело? – подумал барон, и снова посмотрел на график. И тут до него дошло: – Эврика! Меркурий пролетел сквозь Солнце и при этом потерял, в отличие от сталевара, девять десятых массы. Следовательно, и скорость движения Меркурия была меньше скорости света, все как у Эйнштейна!»

Итак, была когда-то двойная звезда. Первая – то самое Протосолнце, а вторая – Елена, конечно, Прекрасная. Как в танце, обе они вращались вокруг общего центра. Звезды сближались – и в один момент произошел взрыв. Ударная волна сорвала оболочку, так сформировались планеты-гиганты газового содержания. Из работ академика В. Е. Фортова Мюнхгаузен знал, что ударные волны – главное орудие в эволюции материи – непременно сопровождаются повышением температуры. «Ну вот, – произнес барон, – эта добавочная температура заставила фотоны, нейтрино, протоны, нейтроны и все такое прочее вливаться друг в друга, образуя тяжелые химические элементы типа железа, урана да тория. Именно они вызвали коллапс остатков второй звезды и ее эволюцию к белому карлику за счет гравитационных сил. Но на этом трудном пути, еще даже не будучи нейтронной звездой, карлик взорвался и породил плотные планеты, тоже карликовые – Землю, Венеру, Меркурий и Плутон. Дело сделано: обе группы планет готовы, а заодно готовы и тяжелые химические элементы, которых нет даже в сверхновых звездах, там же только разлетающаяся пыль, гелий и водород».

«Ура, есть новое открытие! – обрадовался было барон, но тут же опечалился. – Как же мне теперь получить Нобелевскую премию с моей-то репутацией, ведь никто не поверит… Да и житие в России ничего не гарантирует. Поеду-ка я в Америку, это будет надежнее. В России свои таланты не ценят, тем более что у меня модель Солнечной системы не смутная, как у Канта и Лапласа, а взрывная – за счет бывшей второй звезды, находившейся между Юпитером и поясом астероидов. Было Протосолнце – стало Солнце».

Кроме того, если поразмыслить, то получается, что остатки второй звезды на пути коллапса к белому карлику взорвались, превратившись в Марс, Луну и пояс астероидов.

Барон беспокойно огляделся вокруг, случайно нажал кнопку и увидел в Интернете, что, оказывается, в Тюмени есть СибНАЦ, который регулярно издает журнал «Горные ведомости» и параллельно – сборники стихов.

Барон проворчал: «Это что еще за чудо? Как у Маяковского: „Хитрый папаша, землю попашет, попишет стихи“», – но все же без особенного желания открыл сборник стихов за 2013 г. – и вдруг прочел в нем про взрывную модель сотворения Солнечной системы.

«Надо же, – раздосадовано воскликнул он, – не успел я опубликовать свою теорию, как ее у меня украли эти ушлые сибиряки. Господи! Я-то думал, они там в Тюмени только нефтью да газом занимаются… ну, или стихи пишут, а, оказывается, мысли мои читают, да еще машину времени используют. Мало им было Ивана Грозного с его встроенным рентген-аппаратом».

Вконец расстроенный, Мюнхгаузен покинул Россию. А жаль. Все-таки барон пользовался популярностью и народной любовью. Однако перед тем как уехать барон взглянул на Луну. Было полнолуние, и Луна ему улыбалась. Барон невольно стал напевать популярную в то время песенку: «С тобою хорошо при лунном свете мечтать о недалеком ясном дне, когда начнутся путешествия в ракете, то самым первым будет на Луне мой Вася! Он первым будет даже на Луне».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бочкарев В. С**. Причина появления рудоносных химических элементов на планете Земля. Металлогения и планетология // Горные ведомости. – 2015. – № 12 (139). – С. 6–21.

2. **Бочкарев В. С., Брехунцов А. М.** Новая модель строения и эволюции планеты Земля // Горные ведомости. – 2012. – № 3 (94). – С. 6–15.

3. **Мегеря В. М.** Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли. – М.: Локус Станди, 2009. – 256 с.

4. **Садовский М. А., Сардаров С. С.** Соподчиненность и подобие геодвижений в связи с естественной кусковатостью горных пород // Докл. АН СССР. – 1980. – Т. 250, № 4. – С. 846–849.

REFERENCES

1. Bochkarev V.S. [The reason for the appearance of ore-bearing chemical elements on the Earth. Metallogeny and planetology]. *Gornye vedomosti – Mining Herald,* 2015, no. 12 (139), pp. 6–21. (In Russ.).

2. Bochkarev V.S., Brekhuntsov A.M. [A new model of the structure and evolution of the Earth planet]. Tyumen, *Gornye vedomosti – Mining Herald*, 2012, no. 3 (94), pp. 6–15. (In Russ.).

3. Megerya V.M. *Poisk i razvedka zalezhey uglevodorodov, kontroliruemykh geosolitonnoy degazatsiey Zemli* [Search and exploration for hydrocarbon pools controlled by geosoliton degassing of the Earth]. M., Lokus Standi Publ., 2009. 256 p. (In Russ.).

4. Sadovskiy M.A., Sardarov S.S. [Subordination and similarity of geo-movements in connection with natural lumpy rocks]. *Dokl. AN SSSR – Proceedings of the AS USSR*, 1980, vol. 250, no. 4, pp. 846–849. (In Russ.).

© В. С. Бочкарев, 2018

№ 2(34) ♦ 2018

УДК 553.982:550.8(091)(571.1)

ЗАПАДНОСИБИРСКАЯ НЕФТЬ: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Н. П. Запивалов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А. А. Трофимука, Новосибирск, Россия

В декабре 1947 – январе 1948 г. начались планомерные нефтепоисковые работы в Западной Сибири, которые ознаменовали так называемое открытие XX века. Среди нефтяных юбилейных дат эту можно считать самой значимой. Предлагаемый очерк, посвященный этому событию, составлен на основе документальных данных, личных архивов и воспоминаний и дополняет большое число разнообразных публикаций и материалов на данную тему.

***Ключевые слова**: 70-летие западносибирской нефти, этапы освоения нефти в Западной Сибири, новосибирские геологоразведчики, открытие XX века.*

WEST SIBERIAN OIL: HISTORY AND PROSPECTS

N. P. Zapivalov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

December 1947 and January 1948 were in fact the beginning of systematic oil exploration in West Siberia, which marked the discovery of the 20th century. This anniversary can be considered the most significant among the oil anniversary dates. This is the anniversary event that the author devotes his little essay compiled on the basis of documentary data, personal archives and memories. This essay is an addition to a large number of diverse publications and materials.

***Keywords**: 70th anniversary of west siberian oil, stages of west siberian oil development, Novosibirsk geological explorers, discovery of the 20th century.*

DOI 10.20403/2078-0575-2018-2-104-111

Древний нефтяной Азербайджан – ориентир и пример для сибиряков.

Н. П. Запивалов, К. А. Шпильман

Сибирь – это величайшее богатство России и залог ее благополучия. Мы еще поверхностно знаем, что она в себе таит. С годами будет выявлено очень и очень многое. Поэтому мы должны думать, как нам лучше все это выявить и сберечь.

С. Н. Рерих, 1984 г.

Древнейшая нефть планеты

Еще до нашей эры на территории современного Азербайджана нефть получали в местах ее естественного выхода и в небольших «закопушках». Использовали ее для разных целей, включая и лечебные процедуры.

Затем началась эпоха колодезной добычи нефти. В XIV–XV вв. из Баку каждый день отправлялся караван из нагруженных нефтью верблюдов. В 1830 г. из 116 колодцев, пробуренных в конце XVI в., добывалось 710–720 баррелей нефти.

В самом начале XVII в. путешественники и историки неоднократно писали, что на Апшеронском полуострове было расположено от 350 до 400 нефтяных колодцев, а из колодца в с. Балаханы каждый день добывали около 3 т черной и белой нефти.

Принципиально важным в истории нефтедобычи стало механическое бурение скважин, и одна из самых первых на планете появилась именно в с. Балаханы. Она давала 10 т нефти в сутки. А к 1876 г. скважин была уже сотня.

Активную нефтяную деятельность вели многие промышленники, в том числе знаменитые братья Нобель, которым принадлежали многие промыслы, заводы и суда.

Подробно все этапы описаны в книге М. Ф. Мир-Бабаева «Краткая история азербайджанской нефти».

Именно на азербайджанских нефтепромыслах работали профессионалы – движители нефтяного прогресса, имена которых высечены на скрижалях мировой истории.

Когда в 1967 г. произошел аварийный газонефтяной выброс на нефтяном месторождении Рудрагасар в индийском штате Ассам, к укрощению аварийного фонтана были привлечены специалисты из Азербайджана – К. В. Ткаченко и Г. А. Алибеков (рис. 1) [3].

В СССР Баку был первым ориентиром в нефтедобыче. Не зря же Урало-Поволжье называли Вторым Баку, а Третьим стала Западная Сибирь. С самого начала освоения Западной Сибири работа шла под девизом «Будет сибирское Баку» [4].

Путь к большой нефти Западной Сибири

Этот путь был долог и тернист. Первый, еще довоенный этап характеризовался острыми столкновениями научных позиций и концепций, противоречивших друг другу в территориальном и стра-

Рис. 1. К. В. Ткаченко и Г. А. Алибеков

Рис. 2. Н. Г. Рожок

Рис. 3. В. М. Рябов

тиграфическом отношении (И. М. Губкин, В. М. Сенюков, Н. С. Шатский, М. А. Усов, Г. Е. Рябухин, 1932–1936 гг.) и в картировании по заявкам местных жителей отдельных поверхностных проявлений нефти в районах рек Белая, Большой и Малый Юган (Р. Ф. Гуголь, В. Г. Васильев и др., 1935–1938 гг.).

Но ошеломляюще эффективный рывок был сделан лишь после войны. Поворотным пунктом стали события 1947–1948 гг. – создание «Союзсибгеофизтрест» и нефтеразведочной экспедиции-треста «Запсибнефтегазгеология» в Новосибирске [5, 6].

Новосибирские геологоразведчики первыми начинали штурм непроходимых болот и снегов Западной Сибири, реализуя государственные планы геофизических работ и бурения опорных скважин. Именно их результаты стали определяющими для точного прогноза нефтегазоносности. Новосибирск по праву может гордиться своей причастностью к открытию века.

Вспомним исторические факты. В декабре 1947 г. по решению правительства и в соответствии с приказом министра геологии СССР в Новосибирске был создан специализированный союзный сибирский геофизический трест «Союзсибгеофизтрест», а в январе 1948 г. – центральная Западно-Сибирская нефтеразведочная экспедиция «Запсибнефтегеология». Их целью были поиски нефти на территории всей Западной Сибири и Красноярского края [5, 6]. Первым руководителем геофизического треста был Н. Г. Рожок, а первым начальником экспедиции – фронтовик В. М. Рябов (рис. 2, 3). Всего через два года экспедиция была реорганизована в Государственный союзный Западно-Сибирский трест «Запсибнефтегеология», в состав которого входили Тюменская, Минусинская экспедиции, а также большое количество партий и отрядов.

Именно эти два треста – геофизический и геологический – стали своего рода крыльями, на которых взлетел Западно-Сибирский нефтегазовый комплекс. Немного позднее эти предприятия были объединены в одно геологическое управление.

В октябре 1952 г. из состава «Запсибнефтегеологии» на базе Тюменской экспедиции был выделен самостоятельный трест «Тюменьнефтегеология» [4], осуществлявший работы в северном и западном районах Тюменской области. Точку под бурение первой опорной скважины определил на местности лично главный геолог «Запсибнефтегеологии» Иван Петрович Карасев. Бурение опорной скважины началось 29.09.1952, и в 1953 г. она дала первый в Западной Сибири Березовский газовый фонтан [3, 4] (отметим, что буровой станок был подготовлен новосибирскими специалистами). Это стало точкой отсчета.

Значение Березовского газового фонтана трудно переоценить. Как вспоминал министр нефтяной промышленности СССР Николай Константинович Байбаков: «Газ Березово поставил последнюю точку в спорах ученых о перспективности Западной Сибири. Даже, пожалуй, восклицательный знак!»

Исследования Тюменской области, охватывающие районы Широтного Приобья, продолжал Новосибирский трест, наращивая объемы геофизических и буровых работ. И когда эти районы были переданы Тюменскому геологоуправлению в августе 1959 г., здесь функционировали уже три нефтеразведки: Сургутская, Нижневартовская и Охтеурьевская. Одной из них руководил Ф. К. Салманов (рис. 4).

Строительство знаменитой Мегионской скважины – первооткрывательницы большой нефти в Приобье – началось в 1958 г. Точка под бурение была определена на местности 8 сентября ново-

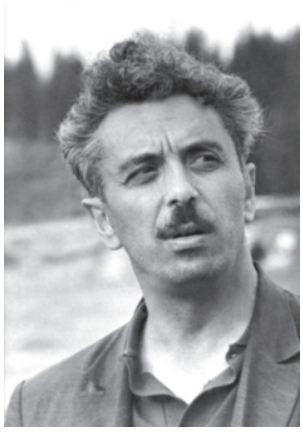


Рис. 4. Ф. К. Салманов, геолог нефтяной закваски Азербайджана, первооткрыватель нефти в Сибири

сибирцами – старшим геологом Н. Д. Семеновым и топографом И. И. Гребенщиковым.

Осенью 1960 г. в Тюмени проходило совещание, на котором обсуждались направления, объекты и объемы поисково-разведочных работ в Западной Сибири на 1961 г. и ближайшую перспективу.

Ю. Г. Эрвье, управляющий «Главтюменьгеологией», и его заместитель Л. И. Ровнин сообщили, что все силы будут сконцентрированы в Березовском газоносном районе, чтобы увеличить там запасы и создать надежную базу для газоснабжения крупных промышленных центров Урала. Одновременно планировалось усилить работы в Шаимском нефтеносном районе.

Такая концентрация работ в западной приуральской части Западной Сибири предусматривала свертывание нефтепоисковых работ в Широтном Приобье. Видимо, в Москве считали неправильным распыление средств по многим объектам на огромной территории. Возможно, в этом и имелся «хозяйственный подход», но он противоречил главному геологическому принципу – успех в нефтепоисковых работах обеспечивается *широким поиском*. Большинство участников совещания поддерживало эти, казалось бы, очевидные планы. И только два человека были против: Н. Н. Ростовцев (рис. 5) и Ф. К. Салманов.

Очень образно описал этот эпизод Ф. К. Салманов в своей книге «Сибирь – судьба моя»: «Я просил

Рис. 5. Н. Н. Ростовцев

увеличить объемы бурения в нашем районе, уверял, что в самое ближайшее время мы получим промышленный приток нефти. Завязался острый спор. В конце совещания выступил авторитетнейший специалист Н. Н. Ростовцев. Ростовцев решительно поддержал нас и заметил, что сургутские геологи правы в своих прогнозах. Тем не менее в решении этого совещания Сургутская экспедиция была „забыта“. Это означало сокращение объемов бурения и геофизических работ…» [7].

Но не успели высохнуть чернила на этих планах, как 20.03.1961 был получен знаменитый Мегионский фонтан. Салманов отправил в Тюмень телеграмму на азербайджанском языке: «Вам это понятно, да?!» Утром 21.03.1961 в «Последних известиях» объявили: «В центре Западно-Сибирской низменности, недалеко от села Нижневартовск, с глубины более 2000 метров впервые получен фонтан нефти дебитом 200 тонн в сутки».

Так весь мир узнал об открытии Большой нефти Сибири.

В Томской области в 1962 г. из меловых отложений на Соснинской площади (Советское месторождение) был получен мощный фонтан нефти дебитом 491 м^3/сут. Разведочные работы, проведенные новосибирцами, показали, что это самое крупное месторождение в Томской области.

В 1968 г. из состава Новосибирского территориального геологического управления было выделено Томское геологическое управление.

На всех этапах этих событий, порою бурных и драматических, старейшая новосибирская нефтеразведочная организация, как настоящая мать, не жадничала. В Тюменской, Томской областях и Красноярском крае оставались лучшие кадры, техника, транспортные средства, вся созданная производственная и социальная инфраструктура. Новосибирцы не наживали себе капитала.

Подчеркну еще раз, что все эпизоды «отпочкования» и организации нефтеразведочных предприятий в других областях и районах проводились за счет уже существовавших там новосибирских нефтеразведок, экспедиций, трестов.

Именно в новосибирских предприятиях и организациях прошли школу многие тысячи специалистов, которые в скором времени стали выдающимися учеными, исследователями и организаторами Западно-Сибирского нефтегазового комплекса: Ф. К. Салманов, В. Т. Подшибякин, И. А. Иванов и многие, многие другие. Ими по праву гордится и Новосибирск.

С 1980 г. Новосибирское территориальное геологическое управление стало называться ПГО «Новосибирскгеология». В 1983 г. сотрудники ПГО проводили различные виды работ на территории двух краев (Красноярского и Алтайского) и семи областей (Новосибирской, Омской, Курганской, Тюменской, Томской, Кемеровской и Кокчетавской), а также в Белоруссии и в других районах Советского Союза. Полевые работы в тот год проводились на 130 объектах. Многие специалисты работали за рубежом (в Индии, Афганистане, Пакистане, на Кубе и в других странах) [5, 6].

В эти же годы новосибирцам было поручено организовать и провести поисково-разведочные работы на нефть в Игарском районе Красноярского края, также относящемся к Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. В тяжелых условиях арктического Заполярья в короткий срок была организована экспедиция и открыты нефтяные месторождения Лодочное, Тагульское, Ванкорское, составляющие крупный нефтяной резерв Красноярского края.

Все это время специалисты «Новосибирскгеологии» работали в тесном контакте с учеными Ин-

ститута геологии и геофизики СО РАН, СНИИГГиМС, ЗапСибНИГНИ и других научных организаций Сибири, Москвы, Ленинграда. Да и в самой «Новосибирскгеологии» были замечательные научные кадры – 20 кандидатов и докторов наук. По научным и производственным вопросам этот коллектив имел собственную точку зрения и достойно ее отстаивал.

Непосредственно новосибирскими нефтеразведчиками было открыто 48 месторождений с большим объемом извлекаемых промышленных запасов нефти и газа: 26 в Томской области, 9 – в Новосибирской, 7 – в Тюменской, 4 – в Омской, 3 – в Красноярском крае.

Следует особо отметить, что все минеральные ресурсы, которыми обладает Новосибирская область, открыты и разведаны тоже нашими геологами. Вы пьете карачинскую минеральную воду – это геологи; вы принимаете радоновую ванну в Заельцовском санатории – это тоже геологи. Коксующийся уголь, торф, мрамор, золото, металлы, цементное и кирпичное сырье, пресная вода, агросырье, строительные материалы и, конечно, своя верх-тарская нефть – всему дали начало геологи.

В «Новосибирскгеологии» работали прекрасные специалисты: В. К. Архипов, В. С. Баженов, В. И. Белов, Ю. Н. Вараксин, В. Ф. Гаврилов, Е. М. Зубарев, И. Н. Кочнев, А. И. Кретов, П. А. Кукин, В. А. Минько, Ю. К. Миронов, М. С. Михантьева, К. В. Нарицина, И. И. Плуман, М. Н. Птицина, С. П. Репин, А. А. Розин, З. Я. Сердюк, Г. М. Таруц, С. И. Чернов и еще многие замечательные геологи, геофизики, буровики и нефтеразведчики. Многих уже нет среди нас.

Хочется вспомнить и о том, что руководители Новосибирской области (первые секретари Новосибирского обкома КПСС Федор Степанович Горячев, Александр Павлович Филатов, председатель Новосибирского облисполкома Владимир Анатольевич Боков, председатель Новосибирского горисполкома Иван Павлович Севастьянов) уделяли огромное внимание геологии. Их поддержка и помощь неизменно были эффективными.

Крупнейшая в мире Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция была открыта благодаря самоотверженному героическому труду первопроходцев: ученых, геологов, геофизиков, партийных и советских работников, а главное – непокорных дерзающих людей всех республик СССР.

Самая южная нефть в Новосибирской области

В Северном районе открыто девять нефтегазовых месторождений (рис. 6), Верх-Тарское и Малоичское уже дали более 12 млн т высококачественной нефти.

Несмотря на скептицизм, новосибирские геологи в 1970 г. открыли Верх-Тарское нефтяное месторождение – самое южное в Западной Сибири [2] (рис. 7). А в 1974 г. в древних породах палеозоя на значительных глубинах (4600 м) было открыто Малоичское нефтяное месторождение. Это привлекло внимание председателя Совета Министров СССР А. Н. Косыгина и его ближайшего соратника предсе-

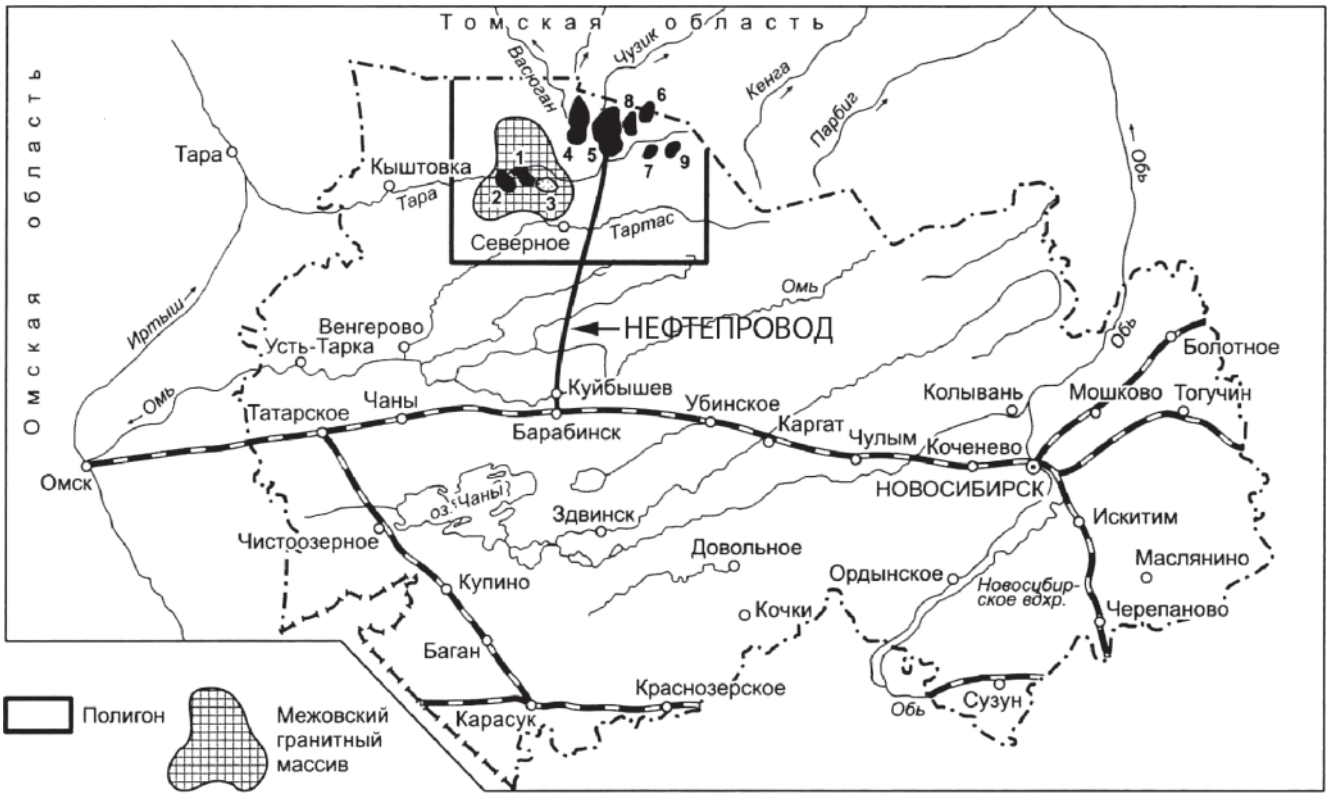


Рис. 6. Схема расположения нефтегазовых месторождений Новосибирской области: 1 – Межовское, 2 – Восточно-Межовское, 3 – Веселовское (газовое), 4 – Малоичское, 5 – Верх-Тарское, 6 – Ракитинское, 7 – Тай-Дасское, 8 – Восточно-Тарское, 9 – Восточное

Рис. 7. Первый Верх-Тарский фонтан. Слева направо: Н. В. Беляев, Ю. Н. Вараксин, Н. П. Запивалов, Г. С. Пасаженников, В. И. Харитонов. Новосибирская область, Северный район, май 1970

дателя Госплана СССР Н. К. Байбакова. Официально были удостоены звания «Первооткрыватель Верх-Тарского месторождения» 19 человек: четыре геолога, четыре геофизика, четыре буровика, четыре испытателя пластов, два начальника и один ученый.

К сожалению, в последние годы активное освоение этого нефтегазоносного района осуществляется плохо, добыча падает. Четкой информации нет. Часто меняющиеся недропользователи методами ускоренной выработки активных запасов подорвали «здоровье» нефтенасыщенной системы Верх-Тарского месторождения, превышая критический уровень добычных возможностей. При этом утвержденные геологические запасы выработаны только на 25–30 %. Требуется инновационная щадящая реабилитация месторождения.

Другие открытые месторождения этого района нуждаются в доразведке, которая не проводится. Московские «хозяева» позволяют «Новосибирскнефтегазу» бурить 1–2 скважины в год. Такие темпы нефти не прибавят. Радует, однако, что недалеко от Новосибирска в с. Коченево в 2007 г. построен нефтеперерабатывающий завод, на котором используется верх-тарская нефть.

В 1974 г. в Омской области нашими геологами было открыто Тевризское газовое месторождение с запасами газа 0,6 млрд м^3. Омичи разрабатывают это месторождение уже более 15 лет, снабжая газом три района (Тевризский, Муромцевский и Тарский) по газопроводу длиной 180 км. Предприятием «Тевризнефтегаз» руководит правительство Омской области. Такое же газовое месторождение (Веселовское) открыто в Северном районе Новосибирской области, разработка его пока не ведется, поскольку газ находится в глубинной ловушке.

Неоднократно предлагалось создать на базе новосибирских нефтегазовых месторождений научно-исследовательский и научно-образовательный полигон, но, увы, это пока не реализовано.

Память о геологах

В Тюмени и Тюменской области много памятных знаков в честь геологов и нефтяников, а вот в Новосибирской области только один – в Поселке геологов, вблизи Ботанического сада (рис. 8). Он сделан из мрамора, добытого на Петеневском месторождении в Маслянинском районе Новосибирской области. Рядом – памятник ветеранам Великой Отечественной войны, сделанный из того же мрамора. Такое соседство символично.

Безусловно, Западно-Сибирскую нефтегазоносную провинцию сделали в первую очередь

Рис. 8. Памятник геологам-первооткрывателям в Поселке геологов (Новосибирская область)

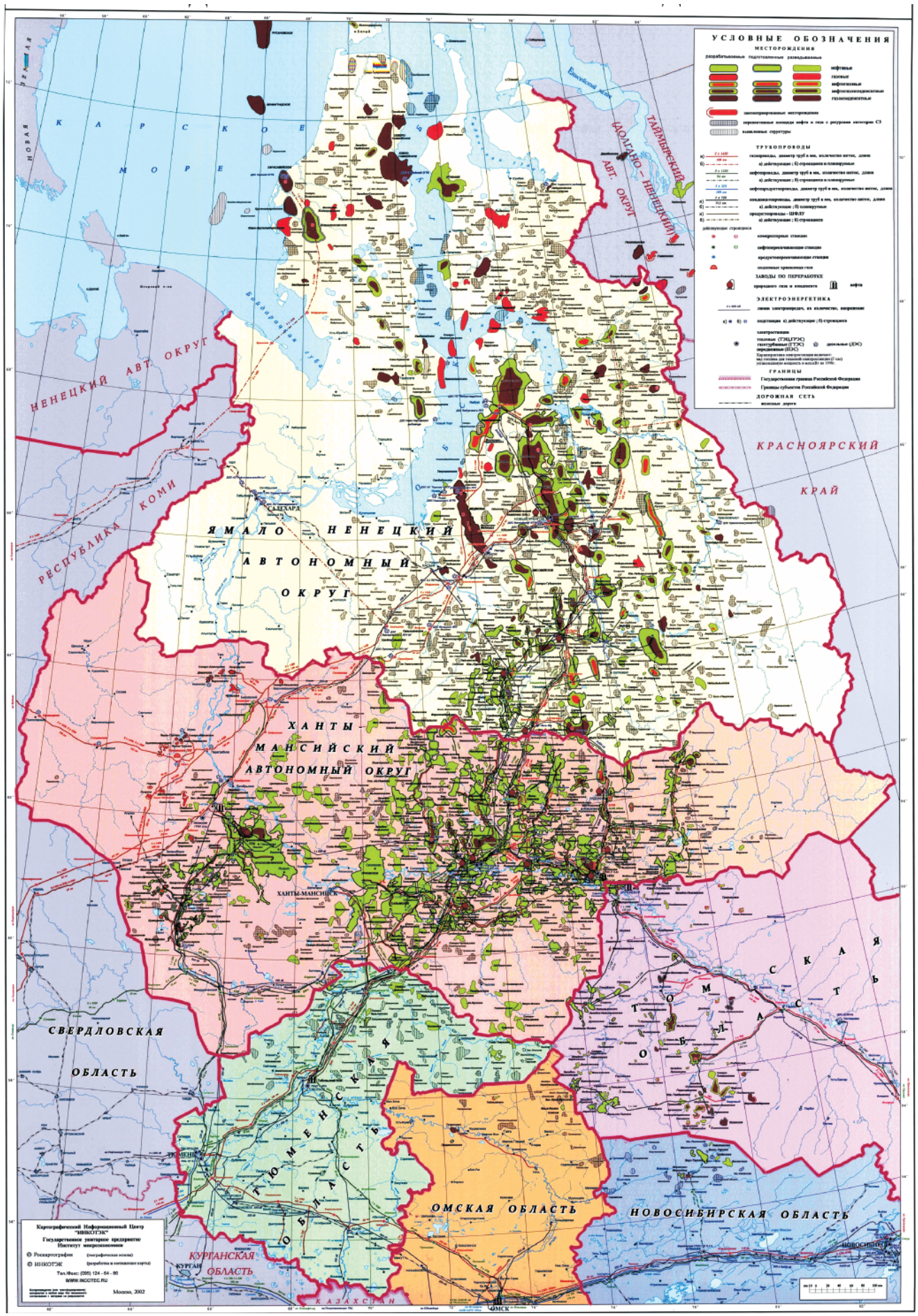


Рис. 9. Карта месторождений Западной Сибири (зеленым цветом обозначены нефтяные, красным – газовые)

тюменские коллеги-геологи многих национальностей и разных специальностей. В «Главтюменьгеологии» под руководством Ю. Г. Эрвье и Ф. К. Салманова насчитывалось более 100 тысяч сотрудников.

Советские ученые-геологи убеждали руководство страны в больших перспективах Западной Сибири даже в военные годы. А в первые послевоенные годы государство не скупилось и полностью обеспечивало дорогие и трудные поиски нефти необходимой помощью и постоянным вниманием [4].

К сожалению, не удалось успешно завершить начатые в 1972 г. поисково-разведочные работы на нефть и газ в Курганской области, хотя в Омске и Кургане были специальные геолого-геофизические экспедиции и партии от Новосибирского территориального геологического управления. Основные результаты работ, исчерпывающая геолого-геофизическая информация с комплектом графических и табличных приложений, а также перспективы отражены в сборнике, изданном еще в 1976 г., «Геологическое строение и нефтегазоносность юга Западной Сибири по новым данным» [1]. Авторы статей – сотрудники Новосибирского территориального геологического управления.

В качестве причин неэффективности этих работ могу назвать следующие факторы.

1. Малый объем комплексных геолого-геофизических исследований и особенно глубокого бурения, что не позволило обеспечить преодоление природных и технологических рисков (неопределенностей).

2. Недостаточная эффективность технологий и «торопливость» темпов работ по испытанию (опробованию) нефтегазовых объектов в пробуренных скважинах.

Можно с уверенностью утверждать, что эти районы не исчерпали свой нефтегазовый потенциал. В Западной Сибири расположены Тюменская (включая Ханты-Мансийский автономный округ и большую часть Ямало-Ненецкого), Томская, Новосибирская, Омская, Кемеровская и Курганская области, большая часть Свердловской, часть Челябинской, Алтайский край и Республика Алтай. Нефть и газ открыты в Тюменской, Томской, Новосибирской, Омской областях (рис. 9). Всего в Западной Сибири открыто 859 нефтегазовых месторождений (более 2000 залежей в разных стратиграфических горизонтах), сосредоточено около 80 % общероссийских разведанных запасов газа и добывается свыше 70 % общероссийской нефти.

Открытие века позволило обеспечить экономическую стабильность и мощь СССР в XX веке и современной России в XXI веке.

За 70 лет открытия и освоения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции геологи заслужили 12 званий Героя Социалистического Труда, 20 орденов Ленина, 20 Ленинских премий. Особая благодарность – тюменским нефтяникам «Главтюменьнефтегаза» под руководством Виктора Ивановича Муравленко. Среди них тоже были герои и лауреаты.

О перспективах развития нефтегазового комплекса Западной Сибири

Длительная сверхинтенсивная выработка активных запасов на многих (особенно крупных) месторождениях предопределила большой объем остаточной (трудноизвлекаемой) нефти в пластах. Количество остаточной нефти значительно больше, чем добытой, поэтому дальнейшая разработка «стареющих» месторождений на основе принципиально новых инновационных технологий (Improved Oil Recovery) с применением реабилитационных циклов еще многие годы может быть эффективной и рентабельной в сибирских регионах с развитой производственной и социальной инфраструктурой и наличием профессиональных кадров. Другой Западной Сибири у нас пока нет.

Перспективным является поэтапное освоение Северных акваторий Западной Сибири, в основном Карского моря.

Большие надежды связаны с глубокими горизонтами докембрия и палеозоя. В них могут быть обнаружены высокопродуктивные очаговые зоны нефтегазоносности.

Баженовская сланцевая нефть может оказаться пока очень затратной.

Безусловно, необходимо дальнейшее увеличение поисково-разведочных работ силами Росгеологии. При этом следует не забывать о том, что геология и недропользование – это разные понятия. А система недропользования в Сибири требует существенных корректив.

Автор статьи, широко известный в России и за рубежом геолог-нефтяник с более чем 60-летним опытом производственной и научной деятельности, имеет непосредственное отношение к описываемым событиям: в 1969–1986 гг. он руководил объединением «Новосибирскгеология» (был главным геологом и генеральным директором) и принимал участие в поисках и открытии Большой нефти Западной Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологическое** строение и нефтегазоносность юга Западной Сибири по новым данным / под ред. Н. П. Запивалова. – Тюмень, 1976 – 145 с. – (Тр. ЗапСибНИГНИ; вып. 116).

2. **Запивалов Н. П.** Всему дают геологи начало. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2002. – 52 с.

3. **Запивалов Н. П., Павлов Ф. В.** Индия – путь к большой нефти (1955–2005). – Новосибирск: Гео, 2005. – 208 с.

4. **Запивалов Н. П., Шпильман К. А.** Будет сибирское Баку. – Новосибирск: Кн. изд-во, 1963. – 53 с.

5. **История** геологического поиска. К 50-летию открытия Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / ред. В. И. Карасев, Ю. К. Анафонов и др. – М.: Пента, 2003. – 288 с.

6. **Нефть** и газ Тюмени в документах. В 2 т. Т. 1 / сост. В. Н. Клепиков и др. – Свердловск: Среднеуральское кн. изд-во, 1971. – 479 с.

7. **Салманов Ф. К.** Сибирь – судьба моя. – М.: Молодая гвардия, 1988. – С. 131–141.

REFERENCES

1. Zapivalov N.P., ed. *Geologicheskoe stroenie i nefte-gazonosnost' yuga zapadnoy Sibiri po novym dannym* [Geological structure and oil and gas potential of the south of West Siberia according to new data]. *Tr. ZapSibNIGNI*. [ZapSibNIGNI Proc.]. Tyumen, 1976. 145 p. (In Russ.).

2. Zapivalov N.P *Vsemu dayut geologi nachalo.* [Geologists give the beginning of everything]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2002. 52 p. (In Russ.).

3. Zapivalov N.P., Pavlov F.V. *Indiya – put' k bol'shoy nefti* [India – the path to big oil]. Novosibirsk, Geo Publ., 2005. 208 p. (In Russ.).

4. Zapivalov N.P., Shpilman K.A. *Budet Sibirskoe Baku* [Siberian Baku will be]. Novosibirsk, Book Publ., 1963. 53 p. (In Russ.).

5. *Istoriya geologicheskogo poiska. K 50-letiyu otkrytiya Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii* [History of geological prospecting. To the 50th anniversary of the discovery of the West Siberian petroleum province]. Moscow, Penta Publ., 2003. 288 p. (In Russ.).

6. *Neft' i gaz Tyumeni v dokumentakh* [Tyumen oil and gas in documents]. Sverdlovsk, Middle Urals Book Publishing House, 1971. 450 p. (In Russ.).

7. Salmanov F.K. *Sibir' – sud'ba moya* [Siberia is my destiny]. M., Molodaya gvardiya Publ., 1988, pp. 131–141. (In Russ.).

© Н. П. Запивалов, 2018

НАШИ АВТОРЫ

БЕСПЕЧНЫЙ Владимир Николаевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), главный эксперт-геофизик. *E-mail: bespechnyy@sniiggims.ru*

БОЧКАРЕВ Владимир Савельевич, Сибирский научно-аналитический центр (НАО СибНАЦ), Тюмень, Россия, завсектором, к.г.-м. н. *E-mail: sibnac@sibsac.ru*

ГУСЕВ Анатолий Иванович, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Россия, д.г.-м.н., проф. *E-mail: anzerg@mail.ru*

ЕФИМОВ Аркадий Сергеевич, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, советник ген. директора. *E-mail: journal@sniiggims*

ЗАПИВАЛОВ Николай Петрович, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., д.г.-м.н. *E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru*

КИРИЛЛОВСКИЙ Федор Васильевич, ПГО «Запсибгеология», Новокузнецк, Россия. *E-mail: journal@sniiggims.ru*

КОТЕЛЬНИКОВ Алексей Дмитриевич, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, завлабораторией. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*

ЛАПИН Павел Степанович, Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. геогр. н. *E-mail: pavlap@ngs.ru*

МАКАРЕНКО Николай Андреевич, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, геолог, к. г.-м. н. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*

МИГУРСКИЙ Феликс Анатольевич, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, завотделом, к. г.-м. н. *E-mail: fam@vnigni.ru*

МОСЯГИН Евгений Вячеславович, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), начальник отдела. *E-mail: mosyagin@sniiggims.ru*

ПОДОБИНА Вера Михайловна, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, завкафедрой, д. г.-м. н., проф. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*

САГАЙДАЧНАЯ Ольга Марковна, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, завлабораторией, к.т.н. *E-mail: som@sniiggims.ru*

САГАЙДАЧНЫЙ Александр Владимирович, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: dachny@sniiggims.ru*

САЛЬНИКОВ Александр Сергеевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, завотделом, д.г.-м.н. *E-mail: sas@sniiggims.ru*

САЛЬНИКОВ Тимофей Александрович, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: sas@sniiggims.ru*

СМИРНОВ Максим Юрьевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, исполн. директор, к.г.-м.н. *E-mail: journal @sniiggims.ru*

СТАРОСЕЛЬЦЕВ Валерий Степанович, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, науч. рук., д. г.-м. н., проф. *E-mail: stv@sniiggims.ru*

ТАБАКАЕВА Евгения Михайловна, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Россия, науч. сотр., к.г.-м.н. *E-mail: tabakaeva16@mail.ru*

ТАТЬЯНИН Геннадий Михайлович, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, завкафедрой, к. г.-м. н. *E-mail: gmt@mail.tsu.ru*

УХЛОВА Галина Дадар-ооловна, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС) директор департамента, к. г.-м. н. *E-mail: journal@sniiggims.ru*

ХОГОЕВ Евгений Андреевич, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. ф.-м. н. *E-mail: hogoevea@ipgg.sbras.ru*

ХОГОЕВА Екатерина Евгеньевна, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, инженер. *E-mail: hogoevea@ipgg.sbras.ru*

ШЕМЯКИН Марк Леонидович, Новосибирский государственный университет (НГУ), Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: shemiakin@lab.nsu.ru*

ШМЫКОВ Александр Никитович, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: shmykov@sniiggims.ru*

OUR AUTHORS

BESPECHNY Vladimir, Siberian Research Institut of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: bespechnyy@sniiggims.ru*

BOCHKAREV Vladimir, PhD, Siberian Scientific and Analytical Center (*NAO SibSAC*), Tyumen, Russia. *E-mail: sibnac@sibsac.ru*

EFIMOV Arkady, All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia. *E-mail: journal@sniiggims.ru*

GUSEV Anatoly, DSc, Prof., Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Russia. *E-mail: anzerg@mail.ru*

KHOGOEV Evgeny, PhD, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: hogoevea@ipgg.sbras.ru*

KHOGOEVA Ekaterina, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: hogoevea@ipgg.sbras.ru*

KIRILLOVSKIY Fedor, Zapsibgeologiya, Novokuznetsk, Russia. *E-mail: journal@sniiggims.ru*

KOTELNIKOV Aleksey, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*

LAPIN Pavel, PhD, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG), SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: pavlap@ngs.ru*

MAKARENKO Nikolay, PhD, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: *geokart@ggf.tsu.ru*

MIGURSKII Feliks, PhD, All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia. E-mail: fam@vnigni.ru

MOSYAGIN Evgeniy, Siberian Research Institut of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: mosyagin@sniiggims.ru*

PODOBINA Vera, DSc, Prof., National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail podobina@ggf.tsu.ru*

SAGAYDACHNAYA Olga, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: som@sniiggims.ru*

SAGAYDACHNY Aleksandr, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: *dachny@sniiggims.ru*

SALNIKOV Aleksandr, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: sas@sniiggims.ru*

SALNIKOV Timofey, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: sas@sniiggims.ru*

SHEMYAKIN Mark, PhD, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia. *E-mail: shemiakin@lab.nsu.ru*

SHMYKOV Aleksandr, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: shmykov@sniiggims.ru*

SMIRNOV Maksim, PhD, Siberian Research Institut of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: journal@sniiggims.ru*

STAROSELTSEV Valeriy, DSc, Prof., Siberian Research Institut of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: stv@sniiggims.ru*

TABAKAEVA Evgeniya, PhD, Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Russia. *E-mail: tabakaeva16@mail.ru*

TATYANIN Gennadiy, PhD, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: gmt@mail.tsu.ru*

UKHLOVA Galina, PhD, Siberian Research Institut of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: galau@ngs.ru*

ZAPIVALOV Nikolay, DSc, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru*

Подписано в печать 15.06.18. Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м^2. Печать цифровая.
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 13,2 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