



ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3(59) ♦ 2019
Июль –
сентябрь

Главный редактор –

д. г.-м. н. А. И. Варламов (Москва)

Редакционная коллегия

Свиньин В. Ф., отв. редактор, зам. гл. редактора (Новосибирск)

Бакиев С., д.г.-м.н., проф. (Ташкент, Узбекистан)

Брехунцов А. М., д.г.-м.н. (Тюмень)

Герт А. А., д.э.н. (Новосибирск)

Добрецов Н. Л., акад. РАН (Новосибирск)

Ельцов И. Н., д.т.н., проф. (Новосибирск)

Жаркова В., д.ф.-м.н., проф. (Ньюкасл, Великобритания)

Зайнидинов Х., д.т.н. (Ташкент, Узбекистан)

Конторович А. Э., акад. РАН (Новосибирск)

Кулешов В. В., акад. РАН (Новосибирск)

Мельников Н. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Николаев А. В., чл.-кор. РАН (Москва)

Похиленко Н. П., акад. РАН (Новосибирск)

Птицын А. Б., д.г.-м.н. (Чита)

Сейфуль-Мулюков Р. Б., д.г.-м.н., проф. (Москва)

Старосельцев В. С., д.г.-м.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск)

Старосельцев К. В., к.г.-м.н., отв. секретарь (Новосибирск)

Тригубович Г. М., д.т.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск)

Шин Е. Ч., проф. (Инчхон, Республика Корея)

Элов М. И., акад. РАН (Новосибирск)

Редакционный совет

Алексеев Г. Ф., к.т.н. (Кемерово)

Будников И. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)

Васильев В. И., к.г.-м.н. (Иркутск)

Гермаханов А. А. (Новосибирск)

Девятов В. П., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Ефимов А. С. (Новосибирск)

Жуков К. А., к.э.н. (Новосибирск)

Комаров А. В. (Томск)

Конторович В. А., чл.-кор. РАН (Новосибирск)

Ларичев А. И., к.г.-м.н. (Санкт-Петербург)

Мигурский А. В., д.г.-м.н. (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. (Москва)

Филиппов Ю. А., д.г.-м.н. (Красноярск)

Черных А. И., к.г.-м.н. (Москва)

Шиганова О. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)

Шпильман А. В., к.г.-м.н. (Тюмень)

Шурыгин Б. Н., чл.-кор. РАН (Новосибирск)

Редакция

Воронина Т. А.

Изотова Е. С.

Першина М. В.

Содержание

Региональная геология, стратиграфия, тектоника

В. М. Подобина, Т. Г. Ксенева. Фораминиферовые зоны ганькинского горизонта (верхний кампан – маастрихт) Западной Сибири и их значение для детальной стратиграфии 3

А. И. Муравьев. Флора нижнемеловых отложений п-ова Ямал (Западная Сибирь) 25

Нефтегазовая геология

А. Г. Вахромеев, А. С. Смирнов, А. М. Мазукабзов, И. В. Горлов, Н. В. Мисюркева, Г. Я. Шутов, В. В. Огибенин. Верхнеленское сводовое поднятие – главный объект подготовки ресурсной базы углеводородного сырья на юге Сибирской платформы 38

Геофизика, геофизическое приборостроение

В. М. Соловьев, Н. А. Галёва, А. С. Сальников, В. С. Селезнев, А. В. Лисейкин, Т. В. Кашубина, Д. В. Вяткина. Особенности сейсмического строения Забайкалья в створе опорного профиля 1-СБ «Восточный» по данным разнополяризованных Р- и S-волн 57

С. Ф. Свиньин, Г. М. Тригубович, А. В. Чернышев, В. Ф. Свиньин. Метод оценки рациональной плотности отсчетов многомерных геофизических сигналов с конечной энергией 72

Е. А. Хогоев, Е. Е. Хогоева, М. Л. Шемякин. О микросейсмическом отклике среды и возможности его использования при разведке месторождений углеводородов 80

Минералогия, рудные и нерудные месторождения

А. И. Гусев. Тьдтугемская эпиптермальная магмо-рудно-метасоматическая система юго-восточной части Горного Алтая 85

В. Л. Хомичев. Гипербазиты – пикробазиты и хромитовое оруденение 94

Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы

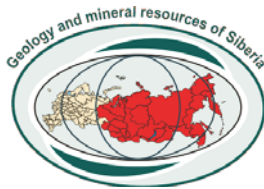
А. И. Сивцев, А. Р. Александров, Д. М. Петров. Эффективное хранение – ключ к освоению гелиевого ресурса Восточной Сибири 106

В. Ф. Крашенинин. Региональный прогноз запасов россыпного минерального сырья Куларского горно-промышленного района 110

К 100-летию со дня рождения Тамары Ивановны Гуровой 117

Памяти Виктора Ивановича Краснова 119

Наши авторы 121



GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

N 5(39) ♦ 2019
July –
September

Editor
DSc A.I.Varlamov (Moscow)

Editorial board:

Svinyin V.F., executive editor, associated editor, Novosibirsk
Bakiev S., DSc (Tashkent, Uzbekistan)
Brekhuntsov A.M., DSc (Tyumen)
Gert A.A., DSc (Novosibirsk)
Dobretsov N.L., acad. RAS (Novosibirsk)
Eltsov I.N., DSc., prof. (Novosibirsk)
Epov M.I., acad. RAS (Novosibirsk)
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)
Seiful'-Mulyukov R.B., DSc, prof. (Moscow)
Shin E.Ch., PhD, Prof. (Incheon, Republic of Korea)
Staroseltsev K.V., PhD, executive secretary (Novosibirsk)
Staroseltsev V.S., DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)
Trigubovich G.M., DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)
Zainitdinov Kh., DSc (Tashkent, Uzbekistan)
Zharkova V., DSc, prof. (Newcastle, United Kingdom)

Editorial council:

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

Editorial staff

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

Content

Regional Geology, Stratigraphy, Tectonics

- V.M.Podobina, T.G.Kseneva.* Foraminifer zones of the Gankinsky Horizon (Upper Campanian – Maastrichtian) of the West Siberia, their importance for stratigraphy 3
A.I.Muravyev. Flora of the lower cretaceous deposits of the Yamal Peninsula (West Siberia) 25

Petroleum Geology

- A. G. Vakhromeev, A. S. Smirnov, A. M. Mazukabzov, I. V. Gorlov, N. V. Misyurkeeva, G. Ya. Shutov, V. V. Ogibenin.* The Upper Lena arched uplift is the main object of preparing a resource base of hydrocarbons in the south of the Siberian Platform ... 38

Geophysics, Geophysical Industry

- V.M.Solovyev, N.A.Galyova, A.S.Salnikov, V.S.Seleznev, A.V.Liseykin, T.V.Kashubina, D.V.Vyatkin.* Peculiarities of the Transbaikalian seismic structure at the site of the base line 1-SB Vostochny on data of differently polarized P- and S-waves..... 57
S.F.Svinyin, G.M.Trigubovich, A.V.Chernyshev, V.F.Svinyin. Method for evaluating the rational density of multidimensional finite energy geophysical signals 72
E.A.Khogojev, E.E.Khogojeva, M.L.Shemyakin. On the microseismic medium response and possibility of its use in the exploration of hydrocarbon fields 80

Minerogenesis, ore and non-metallic mineral deposits

- A.I.Gusev.* The Tydtugem epithermal magma-ore-metasomatic system of the southeast of the Gorny Altai 85
V.L.Khomichev. Hyperbasites – picrobasites and chromite mineralization..... 94

Raw Mineral Resource Base: Current State and Development Prospects

- A.I.Sivtsev, A.R.Aleksandrov, D.M.Petrov.* Effective storage as a key to helium resource development of East Siberia..... 106
V.F.Krasheninina. Regional forecast of placer mineral reserves of the Kular mining-industrial district 110

Personalia

- To the 100th anniversary of Tamara Gurova 117
In memoriam of Viktor Krasnov 119
Our authors 122



ФОРАМИНИФЕРОВЫЕ ЗОНЫ ГАНЬКИНСКОГО ГОРИЗОНТА (ВЕРХНИЙ КАМПАН – МААСТРИХТ) ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОЙ СТРАТИГРАФИИ

В. М. Подобина, Т. Г. Ксенева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

В ганькинском горизонте Западно-Сибирской провинции установлены слои с комплексами фораминифер, выделенные в три зоны: 1) *Cibicoides primus* (верхний кампан), 2) *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* (нижний маастрихт), 3) *Spiroplectammina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi* (верхний маастрихт). Определен видовой состав фораминифер в стратотипах зон и других разрезах центрального палеобиогеографического района, сопоставленный с таковым окраинных районов.

Ключевые слова: фораминиферы, зоны, ганькинский горизонт, верхний кампан, маастрихт, Западная Сибирь.

FORAMINIFER ZONES OF THE GANKINSKY HORIZON (UPPER CAMPANIAN-MAASTRICHTIAN) OF THE WEST SIBERIA, THEIR IMPORTANCE FOR STRATIGRAPHY

V. M. Podobina, T. G. Kseneva

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

In the Gankinsky Horizon of the West Siberian province, layers with foraminifer complexes have been established and divided into three zones: 1) *Cibicoides primus* (Upper Campanian); 2) *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* (Lower Maastrichtian); 3) *Spiroplectammina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi* (Upper Maastrichtian). The species composition of foraminifera in the zone stratotypes and other sections of the central paleobiogeographic region has been determined and compared with that of the marginal regions.

Keywords: foraminifera, zones, Gankinsky Horizon, Upper Campanian, Maastrichtian, West Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-3-24

Многочисленные и разнообразные фораминиферы ганькинского горизонта Западной Сибири исследовались в течение десятилетий. В отличие от других региональных стратиграфических подразделений фанерозоя породы в этом горизонте состоят из серых глин и алевролитов и включают значительные количества карбонатного материала. В центральном (менее южном) палеобиогеографическом районе в большом количестве присутствуют разнообразные раковины секреционно-известковых фораминифер. В окраинных районах (северном, западном, северо-западном, восточном, юго-восточном) количество и систематическое разнообразие фораминифер значительно уменьшается. Первоначально палеобиогеографические районы (центральный, восточный, северный, западный и южный) были установлены В. М. Подобиной [35]. В данной статье на основании изменения состава комплексов фораминифер добавлены еще два района: юго-восточный и северо-западный. Резкое изменение состава фораминифер по сравнению с сантонраннекампанским указывает на распространение трансгрессии в кампане – маастрихте с юга через Тургайский пролив. В. М. Подобина [17] предполагала, что в кампанском времени начались активные тектонические движения, большая средняя часть отложений этого возраста выпала из разреза. Поэтому в низах ганькинского горизонта установлены только верхи верхнего кампана. Основную часть этого

горизонта составляют отложения маастрихтского яруса, что подтверждается находками моллюсков, фораминифер, остракод и других организмов. Из моллюсков преобладают характерные белемниты, обнаружены также обломки спикул и панцирей ежей, двустворок и гастропод. Фораминиферы ганькинского горизонта изучались Э. Н. Кисельман [6, 7, 27, 33], В. Т. Балахматовой, Р. Х. Липман [25], А. И. Еремеевой, Н. А. Белоусовой [4], Т. Г. Ксеновой [8, 9], В. М. Подобиной [14, 15, 18, 20, 22, 23, 35] (рис. 1). В настоящей статье обобщены имеющиеся материалы и добавлены новые сведения по фораминиферам и зональной стратиграфии ганькинской свиты одноименного горизонта Западной Сибири, датированного поздним кампаном – маастрихтом. В самых верхних слоях ганькинской свиты изредка в понижениях рельефа (Омская, Усть-Тымская и другие впадины) обнаружены самые нижние слои условно датского яруса нижнего палеоцена [21].

В результате проведенных исследований в составе ганькинского горизонта в центральном палеобиогеографическом районе установлены три фораминиферовые зоны: 1) *Cibicoides primus* (верхний кампан); 2) *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* (нижний маастрихт); 3) *Spiroplectammina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi* (верхний маастрихт). В дальнейшем эти зоны по присутствию некоторых характерных видов фораминифер прослежены и в окраинных районах (табл. I–III).

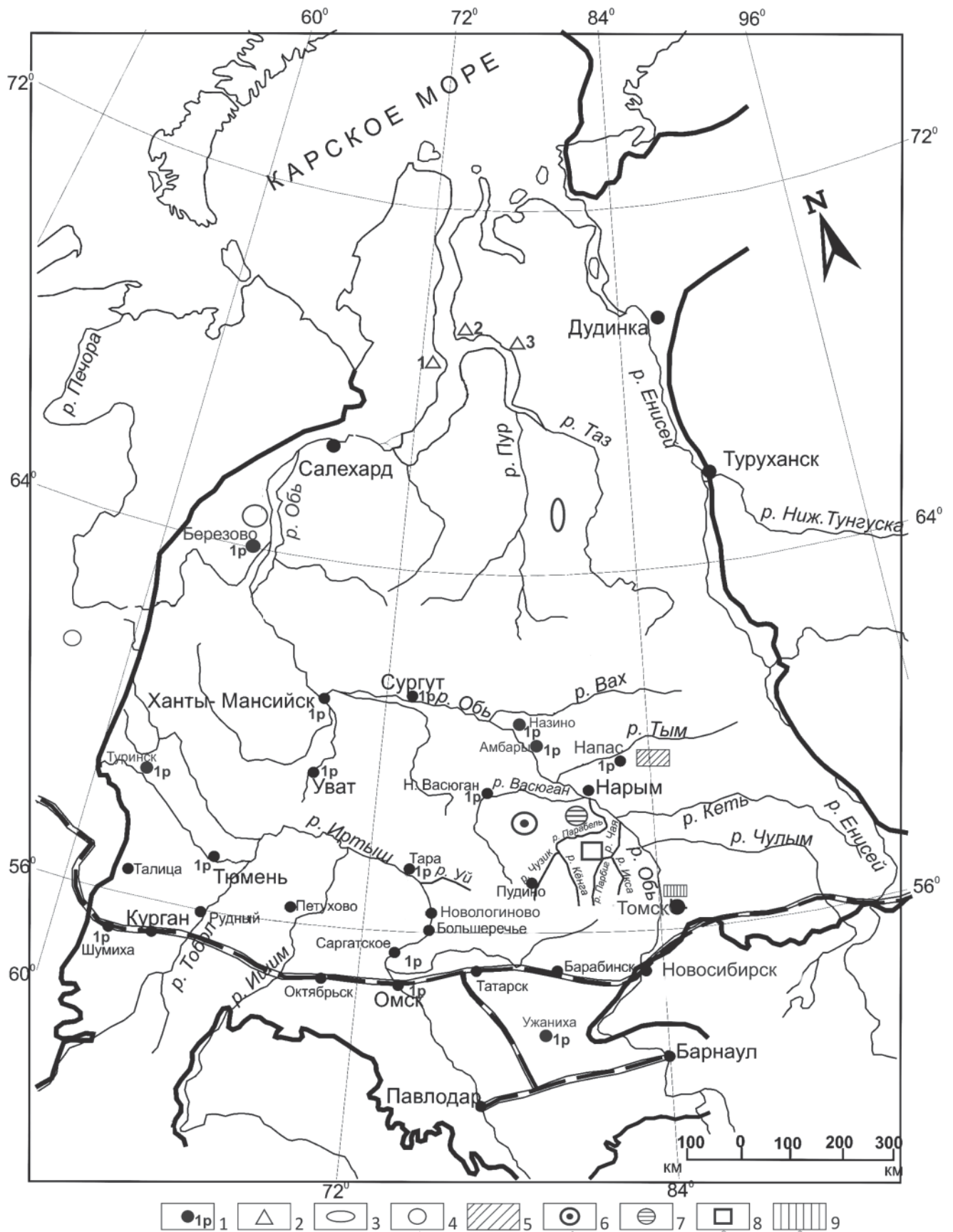
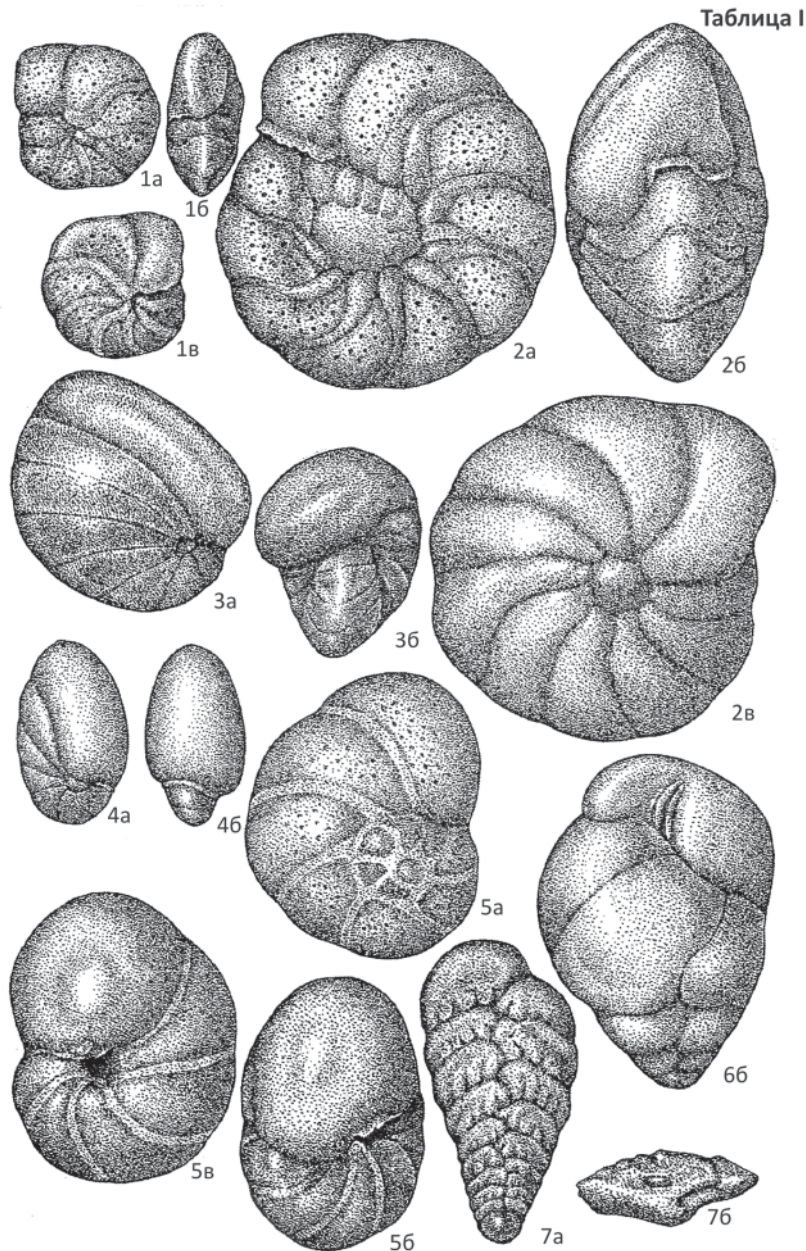


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов скважин

1 – опорные и роторные скважины; 2 – Новый порт (1), Трехбугорный мыс (2), Антипаюта (3); 3 – Тазовская площадь; 4 – Федоровская партия; колонковые скважины, пробуренные: 5 – Пайдугинской партией, 6 – Чижапской партией; 7 – Сенькинским отрядом, 8 – Парбигской партией, 9 – в окрестностях Томска и Северска



Ганькинский горизонт, кампанский ярус, верхний подъярус. Зона *Sibicoides primus*. Вид со стороны: а – боковой или спинной, б – устьевой, в – брюшной

Фиг. 1. *Sibicoides primus* Podobina: экз. № 617а. Томская обл., бассейн р. Кенга (Парбигская партия), скв. 83, гл. 236,0 м; ×80

Фиг. 2. *Sibicoides aktulagayensis* (Vassilenko): экз. № 614а. Томская обл., бассейн р. Чижалка (Чижалпская партия), скв. 10-к, гл. 294,0 м; ×80

Фиг. 3. *Nonionellina ansata* (Cushman): экз. № 681. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 28, гл. 278,5 м; ×80

Фиг. 4. *Nonionellina taylorensis* (Hofker): экз. № 688. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 28, гл. 278,8 м; ×60

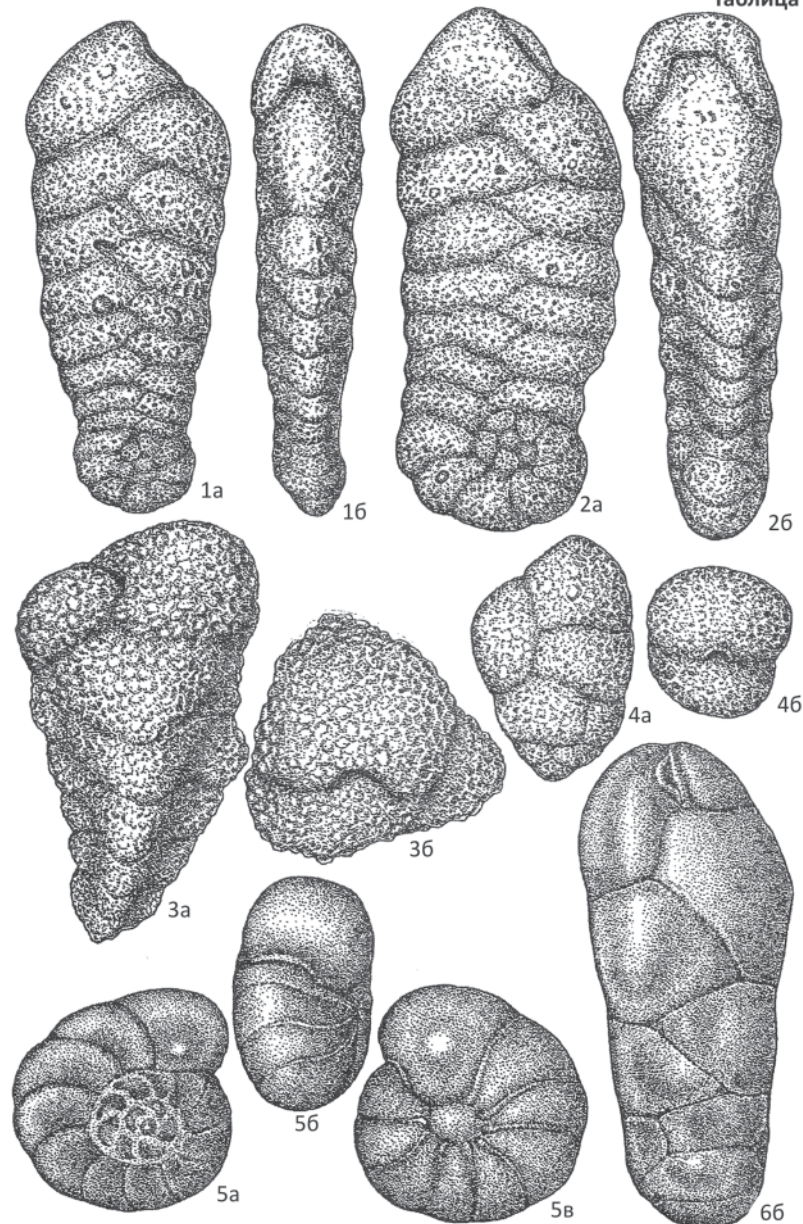
Фиг. 5. *Ceratobulimina cretacea* Cushman et Harris: экз. № 554. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 28, гл. 260,0 м; ×60

Фиг. 6. *Praebulimina carsey* (Plummer): экз. № 1308. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 20, гл. 297,0 м; ×100

Фиг. 7. *Bolivinooides decoratus* (Jones): экз. № 846. Омская обл., Тарская опорная скв. 1-р, гл. 721,5 м; ×80

Фораминиферы зарисованы с натуры художницей О. М. Лозовой. Все экземпляры, приведенные в табл. III и на рис. 2–4, хранятся в лаборатории микропалеонтологии Сибирского палеонтологического научного центра Томского государственного университета

Таблица II



Ганькинский горизонт, маастрихтский ярус, нижний подъярус. Зона *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa*. Вид со стороны: а – боковой или спинной. б – устьевой. в – брюшной

Фиг. 1. *Spiroplectammina variabilis* Neckaja: экз. № 1288. Томская обл., бассейн р. Шуделька (Парбигская партия), скв. 20, гл. 259,0 м; ×80

Фиг. 2. *Spiroplectammina kelleri* Dain: экз. № 1289. Томская обл., бассейн р. Шуделька (Парбигская партия), скв. 20, гл. 259,0 м; ×80

Фиг. 3. *Gaudryina rugosa* Orb. *spinulosa* Neckaja: экз. № 814. Омская обл., Тарская опорная скв. 1-р, гл. 712,0 м; ×80

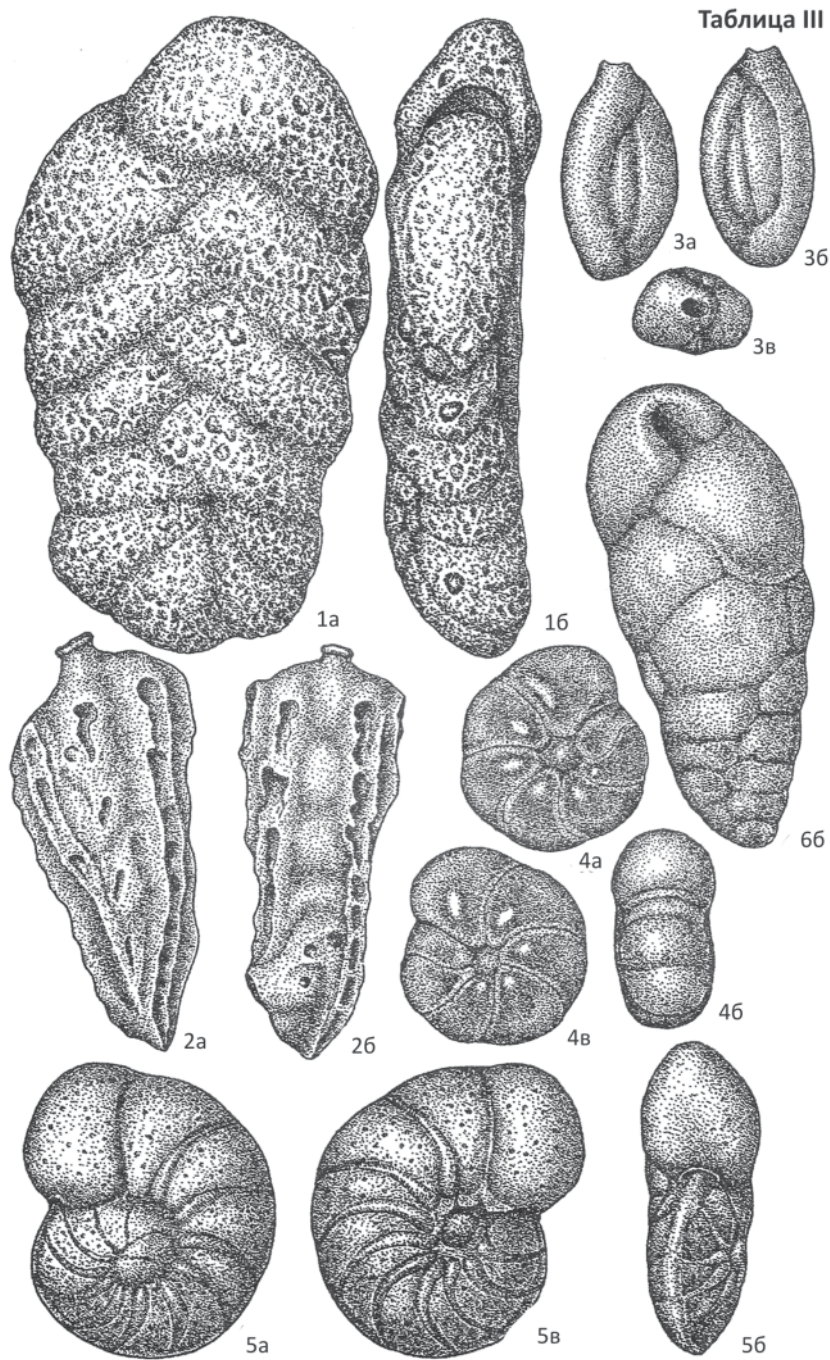
Фиг. 4. *Dorothia pupoides* (Orb.) *ovata* Podobina: экз. № 833. Новосибирская обл., Межовская пл., скв. 37, инт. 409,0–401,0 м; ×80

Фиг. 5. *Valvulineria imitata* (Olsson): экз. № 462. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 2 8, гл. 287,2 м; ×80

Фиг. 6. *Bulimina quadrata* Plummer: экз. № 1310. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 20, гл. 288,0 м; ×90

Кроме преобладающих по количеству и разнообразию секреторно-известковых фораминифер во всех известных разрезах ганькинского горизонта в центральном палеобиогеографическом районе обнаружены агглютинированные известковые и реже кварцево-кремнистые раковины. Системати-

ческий состав комплексов фораминифер указанных зон в этом районе был ранее определен в стратотипах Нововасюганской опорной скв. 1-р [22], в данной статье – в разрезах центрального района, где комплексы наиболее обильны и разнообразны. В окраинных районах систематический состав ком-



Ганькинский горизонт, маастрихтский ярус, верхний подъярус. Зона *Spiroplectammia kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi*. Вид со стороны: а – боковой или спинной, б – устьевой, в – брюшной

Фиг. 1. *Spiroplectammia kasanzevi* Dain: экз. № 1291. Томская обл., бассейн р. Пайдугина (Пайдугинская партия), скв. 1, гл. 500,6 м; ×80

Фиг. 2. *Heterostomella foveolata* (Marsson): экз. № 273а. Тюменская обл., Малиновская пл., скв. 1-р, инт. 626,0–620,0 м; ×50

Фиг. 3. *Quinqueloculina fusiformis* Putrja: экз. № 729. Томская обл., бассейн р. Парабель (Сенькинский отряд), скв. 26, гл. 240,0 м; ×80

Фиг. 4. *Anomalinoidea justus* Podobina: экз. № 605. Новосибирская обл., Межовская пл., скв. 37, гл. 418,0 м; ×80

Фиг. 5. *Brotzenella pseudopapillosa* (Carsey): экз. № 641. Новосибирская обл., Межовская пл., скв. 41, гл. 325,5 м; ×80

Фиг. 6. *Bulimina rosenkrantzi* Brotzen: экз. № 1311. Томская обл., бассейн р. Тым (Пайдугинская партия), скв. 17, гл. 442,0 м; ×90



плексов значительно уменьшается, что сочетается с единичными раковинами выделенных видов. На северо-западе (северо-западный район) обнаружены только немногочисленные агглютинированные кварцево-кремнистые раковины. На севере, западе и востоке в соответствующих районах Западной Сибири установлено обычно 10–15 видов секреторно-известковых раковин (единичные экземпляры). Наиболее резкое различие в систематическом составе комплексов трех фораминиферозных зон наблюдается между центральным, северо-западным и юго-восточным палеобиогеографическими районами. В северо-западном районе (Федоровской партией) обнаружены исключительно агглютинированные кварцево-кремнистые формы, наиболее характерные – представители рода *Spiroplectammina*, обладающие способностью изменять химический состав стенки в зависимости от условий обитания (рис. 2–4).

Федоровские комплексы верхнего кампана – маастрихта систематически мало разнообразны (10–15 видов) и резко отличаются от всех комплексов фораминифер ганькинского горизонта других районов Западно-Сибирской провинции.

Стенка агглютинированных раковин спиролектаммин в северо-западном районе имеет кварцево-кремнистый химический состав. По нашим наблюдениям, другие таксоны (роды) с изменением химического состава стенки изменяют и морфологическое строение раковин [13].

Результаты исследований

Верхний кампан – маастрихт (K_2cp_2 –mst) Ганькинская свита

К маастрихтскому ярусу отнесены отложения ганькинской свиты (горизонта), за исключением ее нижних слоев. Последние, как было доказано ранее [7, 22, 23], являются верхней частью кампана. В самых верхних слоях литологически измененной свиты в депрессионных зонах изредка прослеживается датский ярус, но из-за размыва этой части свиты установить его повсеместно не удается. Свита распространена широко и отсутствует лишь в непосредственной близости к южному и юго-восточному горным обрамлениям равнины.

Отложения ганькинской свиты представлены довольно однообразной толщей известковых серых глин, алевролитов, в которой содержится большое количество обломков пелеципод, гастропод, белемнитов, фораминифер, остракод и других организмов. В самой верхней части свиты (бассейн р. Парабель) залегают прослои оолитовых руд гидрогетит-лептохлоритового состава – один из горизонтов (колпашевский) бакчарского железорудного месторождения [24]. Восточнее с. Напас с обмелением бассейна прослои ожелезненных песчаников соответствуют почти всей ганькинской свите. В нижних ее слоях установлена верхнекампанская зона *Cibicidoides primus* [18]. Ранее Э. Н. Кисельман [7]

в этой части разреза выделена верхняя подзона зоны *Spiroplectammina optata* с боливиноидесами (*Bolivinooides decoratus*, *B. miliaris* – виды-индексы подзоны). Авторами данной статьи эта подзона не установлена. В толще вышележащих пород ганькинской свиты в центральном районе отчетливо выделяются две зоны фораминифер: нижняя *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa*, верхняя *Spiroplectammina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi*, которые относятся к нижнему и верхнему маастрихту соответственно [31].

Э. Н. Кисельман [33] в восточном районе установила слои со *Spiroplectammina variabilis*, соответствующие по положению в разрезе нижней маастрихтской зоне с двумя указанными видами-индексами. Фораминиферозные позднекампан-маастрихтские комплексы первоначально выделены Э. Н. Кисельман в унифицированной схеме [32] и упомянуты в статье [7]. В окраинных районах комплексы этих зон прослеживаются по небольшому количеству единичных видов.

Кампанский ярус (K_2cp)
Верхний подъярус (K_2cp_2)
Зона *Cibicidoides primus*

Вид-индекс. *Cibicidoides eriksdalensis* (Brotzen) *primus* Podobina: В. М. Подобина, 1974, с. 115–117, табл. 1, фиг. 5 [19]; В. М. Подобина, 1989, с. 122–128, табл. XXXI, фиг. 1–2 [23]; В. М. Подобина, 2000, с. 44–47, табл. IX, фиг. 1 [22]; *Cibicidoides primus* Podobina: В. М. Подобина, 2009, с. 107–109, табл. IX, фиг. 1 [18]

Типовой разрез. Нововасюганская опорная скв. 1-р, гл. 741,1–735,2 м, мощность 6 м.

Комплекс фораминифер верхнего кампана в стратотипе зоны ранее приведен В. М. Подобиной [22, с. 44].

Зона под названием двух видов-индексов *Cibicidoides eriksdalensis* (Brotzen) *primus*, *Bolivinooides decoratus* установлена В. М. Подобиной в 1978 г. с указанными видами-индексами. Впервые это подразделение как слои верхнего кампана (ганькинский горизонт), охарактеризованные боливиноидесами, было предложено Э. Н. Кисельман на стратиграфическом совещании в Тюмени в 1967 г. Затем она выделила эти слои в ранге подзоны *Bolivinooides miliaris*, *B. decoratus* верхней части зоны *Spiroplectammina optata* [7].

Вид *B. miliaris* (Hilterman et Koch), указанный как вид-индекс верхнего кампана [7], в европейской части бывшего СССР и на п-ове Мангышлак характерен для маастрихта [2, 10]. В Западной Сибири этот вид пространственно ограничен и встречается только в южной части центрального района и, следовательно, не может далее служить видом-индексом для данной зоны, поэтому заменен В. М. Подобиной на *Cibicidoides eriksdalensis* (Brotzen) *primus* [15, 22], а затем [18] на *C. primus* Podobina. Последний, в отличие от боливиноидесов, широко распростра-

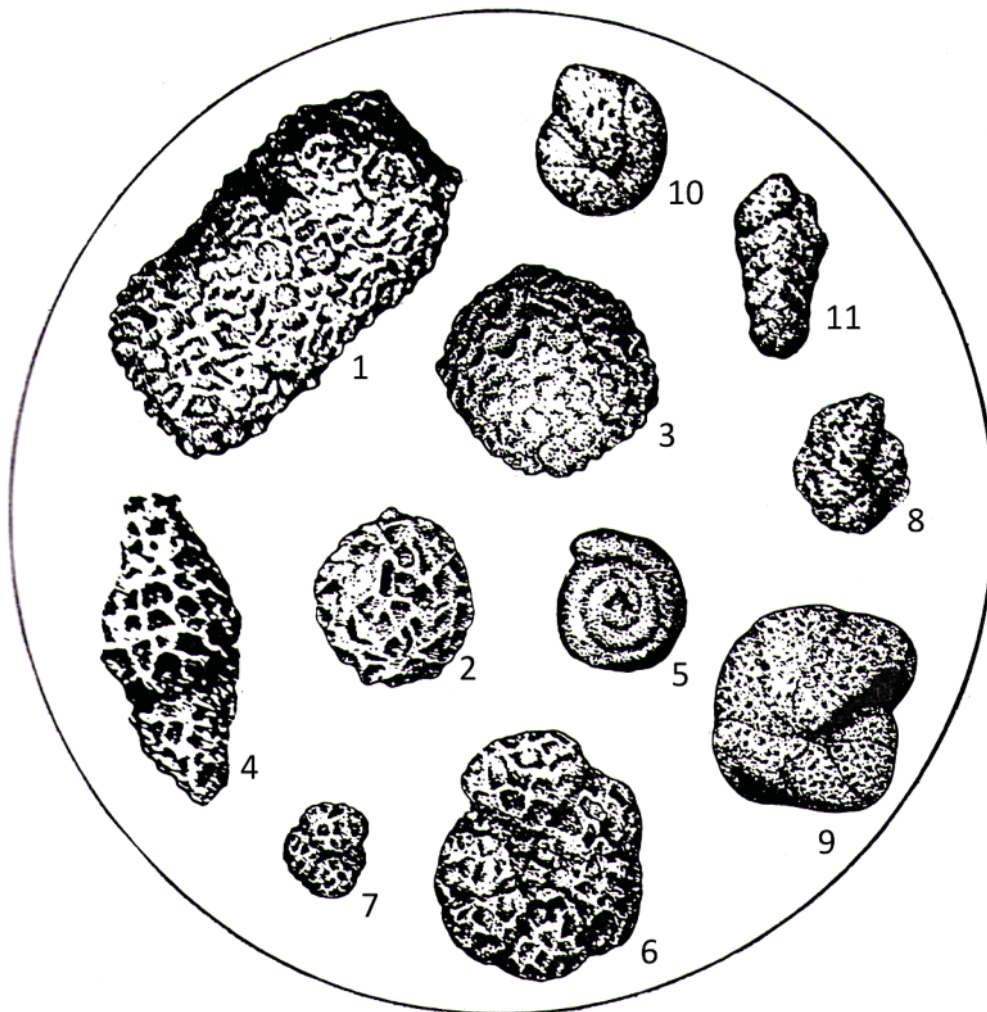


Рис. 2. Зона *Cibicidoides primus*. Тюменская область (Федоровская партия), скв. 22-к, гл. 234,5 м; ганькинский горизонт, кампанский ярус, верхний подъярус; $\times 40$. Северо-западный палеобиогеографический район Западно-Сибирской провинции

1 – *Rhabdammina cylindrica* Glaessner; 2 – *Psammosphaera fusca* Schultze; 3 – *Saccamina sphaerica* (M. Sars); 4 – *Reophax remotus* Podobina; 5 – *Glomospira corona* Cushman et Jarvis; 6 – *Haplophragmoides tumidus* Podobina; 7 – *Recurvoides optivus* Podobina; 8 – *R. magnificus* Podobina; 9 – *Cribrostomoides exploratus* Podobina; 10 – *C. trinitatensis* Cushman et Jarvis; 11 – *Spiroplectammina variabilis* Neckaja

нен в Западной Сибири и является основным видом-индексом при определении позднекампанской зоны *Cibicidoides primus*.

Отложения представлены известковыми серыми и зеленовато-серыми алевролитами и глинами нижней части ганькинской свиты одноименного горизонта. Мощность зоны изменяется от 6 до 30 м.

На востоке (Колпашево-Нарымский район) мощность свиты возрастает до 40 м за счет включения пород колпашевского железорудного горизонта [24], в глинисто-алевритовых прослоях которого встречаются единичные фораминиферы с секреторно-известковой стенкой, включая характерные кампанские виды. Подобные находки дали возможность отнести эти отложения к зоне *Cibicidoides primus*. Ее нижняя граница устанавливается по появлению вида-индекса, верхняя определена по находкам в повышенных количествах (более 10 экз. на 100 г породы) таких характерных видов,

как *Gaudryina rugosa* Orbigny *spinulosa* Neckaja, *Bulimina quadrata* Plummer и др.

В отложениях зоны встречены фораминиферы, остракоды, иглы и обломки панцирей ежей, раковины моллюсков. Комплекс фораминифер с *Cibicidoides primus* в центральном районе состоит почти из 100 видов, около 80 из них – с секреторно-известковой раковиной, остальные – с агглютинированной известковой и реже с агглютинированной кварцево-кремнистой стенкой. Одни виды впервые появляются в нижележащих отложениях, а в позднем кампане становятся многочисленнее, другие же единичны в кампане, но обильны в маастрихте.

К наиболее характерным видам здесь следует отнести *Spiroplectammina optata* Kisselman, *S. variabilis* Neckaja, *Ceratobulimina cretacea* Cushman et Harris, *Cibicidoides aktulagayensis* (Vassilenko), *C. primus* Podobina, *Nonionellina taylorensis* (Hofker), *N. ansata* (Cushman), *Bolivinoidea decoratus* (Jones), *Praebulim-*

ina carsey (Plummer). Зона с этим комплексом широко распространена и встречается почти во всех изученных разрезах центрального района.

При исследовании некоторых разрезов в центральном районе комплекс с *Cibicidoides primus* обнаружен в скважинах 20 (гл. 302,0–297,0 м), 37 (гл. 252,0–246,0 м), 45 (гл. 250,0–240,0 м) в бассейне р. Чузик (Парбигская партия). Комплекс также обильный по количеству особей и разнообразный по видовому составу, прослежен и в разрезе скв. 83 (гл. 239,0–233,0 м) в бассейне р. Кенга (Парбигская партия).

Для примера приведем комплекс с *Cibicidoides primus* из разреза скв. 37 (бассейн р. Чузик). Здесь комплекс исследован по трем образцам известковых темно-серых алевроитовых плотных глин нижней части ганькинской свиты, отобранных из инт. 252,0–246,0 м. Преобладают раковины фораминифер с секреторно-известковой и агглютинированно-известковой стенкой. Определены виды *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Glomospira corona* Cushman et Jarvis, *G. gordialiformis* Podobina, *Ammodiscus cretaceus* (Reuss), *Haplophragmoides tumidus* Podobina, *Cribrostomoides exploratus* Podobina, *Cyclammina* sp., *Ammobaculites agglutiniformis* Podobina, *Ammomarginulina* cf. *crispa* (Kyprianova), *Spiroplectammina variabilis* Neckaja, *S. optata* Kisselman, *S. brevis* Kisselman, *Dorothia pupoides* (Orb.) *ovata* Podobina, *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman) *distincta* Podobina, *Ataxophragmium crassus* (Orb.) *caspium* Vassilenko, *Rectoglandulina sibirica* Podobina et Orlov, *Lagena globosa* (Montagu), *L. multistriata* Marsson, *Nodosaria aspera* Reuss, *N. sagrinensis* Bagg, *Dentalina basiplanata* Cushman, *D. tumidiuscula* Podobina et Orlov, *D. seliquiformis* Podobina et Orlov, *Lenticulina chantyensis* Putrja, *Astacolus fabaceus* Podobina et Orlov, *Oolina obeliscata* Mello, *Globulina lacrima* (Reuss) *subsphaerica* Berthelin, *G. aft oolithica* Terquem, *Guttulina acutata* Kusina, *G. trigonula* (Reuss), *G. cretacea* Alth., *G. pseudoaustriaca* Kusina, *G. austriaca* Orb., *Sigmomorphina variabilis* Kusina, *Globulina lacrima* (Reuss), *Siphoglobulina ovoiformis* Kusina, *Valvulinoides umovi* (Kyprianova), *Gyroidinoides turgidus* (Hagenow), *G. obliquaseptatus* (Mjatluk), *Eponides sibiricus* Neckaja, *E. proprius* Podobina, *Alabamina dorsoplana* (Brotzen), *Cibicides globigeriniformis* Neckaja, *C. gankinoensis* Neckaja, *Anomalinoides pinguis* (Jennings) *neckajae* Vassilenko, *A. falsiplanctonicus* (Balakhmatova), *Cibicidoides primus* Podobina, *C. aktulagauensis* (Vassilenko), *Pullenia americana* Cushman, *P. kasakhstanica* Dain, *Quadriformina allomorphinoides* (Reuss), *Nonionellina taylorensis* (Hofker), *Rugoglobigerina cretacea* (Orb.), *Praebulimina carseyae* (Plummer), *Bulimina omskensis* Kisselman, *Bolivina plaita* Carsey, *Guembelina globulosa* (Ehrenberg).

Раковины в основном хорошей сохранности, отличаются разнообразием морфологических особенностей. Однако вид-индекс *Cibicidoides primus* Podobina в комплексе обнаружен в единичных ко-

личествах (до 10 экз. на 100 г породы). Для данной части разреза характерны также *Spiroplectammina optata* Kisselman, *Dorothia pupoides* (Orb.) *ovata* Podobina, *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman) *distincta* Podobina, *Ataxophragmium crassus* (Orb.) *caspium* Vassilenko, *Cibicidoides aktulagauensis* (Vassilenko), *Nonionellina taylorensis* (Hofker), *Praebulimina carseyae* (Plummer), *Bolivina plaita* Carsey. Большинство из этих видов характерны для кампанских отложений сопредельных провинций. Смена сантон-раннекампанских кварцево-кремнистых агглютинированных форм секреторно-известковыми и агглютинированно-известковыми раковинами указывает на значительное изменение физико-географических условий эпиконтинентального бассейна Западной Сибири. Судя по систематическому составу фораминифер, численности особей отдельных видов, структуре комплекса, облику раковин и литологическим особенностям пород (появление карбонатного материала в ганькинской свите), можно предположить, что с кампана трансгрессия в пределы Западной Сибири распространялась с юга через Тургайский пролив. Глубины эпиконтинентального бассейна были относительно небольшими (не более 100 м) и примерно соответствовали литоральной зоне современного шельфа. Наряду с фораминиферами отмечены и остракоды *Schuleridea interstincta* Mand., *Clithrocytheridea schweyeri* Liepin, *Orthonotacythere sibirica* Liepin, *O. elegans* Liepin. *O. (?) juvenes* Lubimova, ранее охарактеризованные из отложений маастрихтского яруса [11].

Восточнее в разрезе скв. 45 в пос. Кенга в центральном районе (Парбигская партия), в двух образцах известковых серых алевроитовых плотных глин на глубине 250,0–240,0 м обнаружен комплекс фораминифер с *Cibicidoides primus*, по систематическому составу близкий к описанному из разреза скв. 37.

Комплекс в разрезе скв. 45 представлен преимущественно секреторно-известковыми формами хорошей сохранности. Среди них наиболее многочисленны представители родов *Gyroidinoides*, *Eponides*, *Cibicides*, *Anomalinoides*, *Cibicidoides*, *Praebulimina*, *Reussella*: найдено до 30 и более раковин их видов (на 100 г породы). Из агглютинированных известковых форм преобладают представители родов *Spiroplectammina* и *Siphogaudryina*. Раковины *Spiroplectammuna variabilis* Neckaja и *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman) *distincta* Podobina также встречаются в значительных количествах (более 30 экз. на 100 г породы). Следует отметить и большое разнообразие представителей нодозариид и роталиид. Однако милиолиды и агглютинированные кварцево-кремнистые формы почти полностью отсутствуют. Подобный систематический состав фауны указывает на ее обитание в более глубоководной части эпиконтинентального бассейна.

Совместно с фораминиферами встречены единичные хорошей сохранности створки остракод. Эти мельчайшие ракообразные представлены видами



Procytheropteron virgineum (Jones), *Orthonotacythere sibirica* Liepin, *O. australis* Liepin, *Argilloecia graphica* Lubimova, *Cytherella* sp., *Clithrocytheridea schweyerei* Liepin; несколько чаще встречаются только представители вида *Orthonotacythere sibirica* Liepin, который может быть видом-индексом для названия позднекампанского комплекса остракод; остальные виды в комплексе единичны.

В верховьях р. Кенга, как уже указывалось, пробурена скв. 83. В трех образцах известковых темно-серых алевроитовых глин нижней части ганькинской свиты, отобранных из инт. 239,0–233,0 м, обнаружены фораминиферы и остракоды. Фораминиферы выделены как комплекс с *Cibicidoides primus*, в котором определены многие виды, описанные из предыдущих разрезов центрального района.

В комплексе преобладают раковины отрядов Textulariida, Lagenida и Rotaliida. Разнообразны в систематическом отношении лагениды, что дает основание судить о более глубоководных условиях обитания. Об этом же свидетельствует почти полное отсутствие милиолид. Вид-индекс *Cibicidoides primus* Podobina встречен единично. Раковины исследуемого комплекса хорошей сохранности и довольно разнообразного систематического состава, что свидетельствует о благоприятных условиях обитания в позднекампанском бассейне.

Восточнее меридионального течения р. Обь исследован комплекс позднего кампана в разрезе скв. 37 (Пайдугинская партия). В зеленовато-серых песчаных глинах на глубине 273,0 м встречены единичные фораминиферы, представленные видами *Spiroplectamina optata* Kisselman, *S. ancestralis* Kisselman, *Lenticulina ovalis* (Reuss), *Planularia* aff. *rutkevitchi* Putrja, *Valvulineria procera* Podobina, *Eponides sibiricus* Neckaja, *Bagginoides quadrilobus* (Mello), *Epistomina fax* Nauss, *Reinholdella brotzeni* Olsson, *Cibicidoides primus* Podobina.

Комплекс в данном разрезе (восточный район) сравнительно обеднен количественно и по видовому составу. В нем несколько увеличено количество (до 20 экз. на 100 г породы) представителей видов *Eponides sibiricus* Neckaja и *Valvulineria procera* Podobina. Остальные виды, указанные в списке, – единичные формы. Наиболее характерны для данной части разреза виды спиروطектаммин, а также *Valvulineria procera* Podobina, *Cibicidoides primus* Podobina. Вид *Bolivinoidea decoratus* (Jones), широко распространенный на юге Западной Сибири, здесь не встречен.

В восточном районе позднекампанский комплекс фораминифер в разрезах скважин бассейна р. Пайдугина, пробуренных Пайдугинской партией (скв. 22, гл. 300,0–290,0 м; скв. 24, гл. 300–292 м), и р. Тым (скв. 10, гл. 335,0–313,0 м) обеднен в видовом и количественном отношении. В указанных разрезах везде присутствует вид-индекс *Cibicidoides primus* Podobina. В разрезе скв. 24 комплекс несколько разнообразнее, обнаружены виды *Spiroplectamina*

variabilis Neckaja, *Quinqueloculina sibirica* Putrja, *Q. rotunda* Carsey *tricostata* Putrja, *Nodosaria tchuzica* Podobina et Orlov, *Globulina* aff. *oolithica* Terquem, *Valvulineria procera* Podobina, *Gyroidinoides turgidus* (Hagenow), *G. obliquaseptatus* (Mjatliuk), *Bagginoides quadrilobus* (Mello), *Epistomina fax* Nauss, *Reinholdella brotzeni* (Olsson), *Eponides sibiricus* Neckaja, *Cibicidoides globigeriniformis* Neckaja, *Cibicidoides primus* Podobina, *Anomalinoidea pinguis* (Jennings) *neckajae* Vassilenko, *Biglobigerinella abberanta* (Neckaja), *Hastigerina aspera* (Ehrenberg) *digitata* Subbotina, *Reussella minuta* (Marsson), *Guembelina globifera* (Ehrenberg). В комплексе встречены секреторно-известковые раковины хорошей сохранности за исключением вида *Spiroplectamina variabilis* Neckaja, который имеет агглютинированную стенку с включением карбонатного материала и распространен единично.

Отложения слоев с *Cibicidoides primus* на юге Зауралья (западный район) подстилаются фадюшинской пачкой, включающей комплекс фораминифер с *Ataxophragmium variabilis*. Из находок макрофауны в этой пачке следует отметить *Belemnitella mucronata* Schloth., *Baculites vertebralis* Lam. и другие моллюски зоны *Belemnitella mucronata* [26], которая, как указывалось, в Западной Сибири отсутствует, но местами, например на юге Зауралья, ее следы сохранились.

Мощность верхнекампанских отложений исследуемой зоны в разрезе Туринской скв. 1-р (гл. 341,0–331,0 м) (западный район, материалы Ф. В. Киприяновой) невелика (10 м); выделены они по присутствию вида-индекса *Cibicidoides primus* Podobina и ряда сопутствующих видов, обычно встречающихся в центральном районе равнины.

На юге, в Тургайском прогибе (р. Аят) кампанские отложения впервые установлены П. Л. Безруковым в 1934 г. [1]. В толще кварцевых разнозернистых песков, залегающей под карбонатными фаунистически охарактеризованными глинами маастрихта, он обнаружил моллюски, среди которых определен зональный вид *Belemnitella langei* Schatsky. В этих же породах Кушмурунского, Аятского районов позднее А. И. Еремеевой и Н. А. Белоусовой [4] выделен комплекс фораминифер с наиболее распространенными видами *Spiroplectamina kelleri* Dain (aff. *S. optata* Kisselman), *S. ex gr. alexanderi* Lalicker (*S. brevis* Kisselman), *Ataxophragmium variabilis* (Orb.) (aff. *orbignyiformis* Vassilenko), *Arenobulimina presli* (Reuss), *Praebulimina carsey* (Plummer), *Eponides sibiricus* Neckaja, *Gavelinella taylorensis* (Carsey), *Anomalina comptula* Ehremeeva. Большое сходство этого комплекса с бактыгарынским (Актюбинская область), описанным Н. А. Калининым [5], позволяет относить толщу кварцевых песков Кушмурунского и Аятского районов к верхам кампанского яруса зоны *Belemnitella langei*.

Севернее, в Усть-Уйском районе (Введенская и Алешинская скважины), в аналогичной толще кварцевых глауконитовых песков, содержащих



оолиты бурого железняка, А. И. Еремеевой, Н. А. Белоусовой [4] в комплексе фораминифер определены *Ammobaculites* aff. *agglutinans* (Orb.) (*A. agglutiniformis* Podobina), *Spiroplectammina rosula* (Ehrenberg), *S. ex gr. alexanderi* Lalicker, *Bolivina ex gr. kalinini* Vassilenko, *Eponides sibiricus* Neckaja, *Gyroidina soldanii* Orb. (*Gyroidinoides obliquaseptatus* (Mjatliuk)), *Anomalina comptula* Ehremeeva, среди которых отмечены те же виды, что в пос. Кушмуруна и в бассейне р. Аят. А. И. Еремеева и Н. А. Белоусова [4] также отмечают, что в разрезе Кушмурунского, Качаро-Кустанайского и Усть-Уйского районов верхнекампанские породы залегают непосредственно на морских осадках нижнего сантона и покрываются маастрихтскими отложениями. Кроме того, эти исследователи считают, что сантонские и нижнекампанские отложения на равнине объединяются в одну славгородскую свиту, но по характеру распространения и состава комплексов фораминифер являются осадками разных морских трансгрессий. А в с. Тургай верхнесантонская зона *Cribrostomoides exploratus*, *Ammomarginulina crispa*, нижнекампанская зона *Bathysiphon vitta*, *Recurvoides magnificus* в разрезе отсутствуют, что объясняется активными тектоническими движениями.

Слои с комплексом фораминифер, изученным А. И. Еремеевой и Н. А. Белоусовой [4], соответствуют микрофаунистической зоне *Globorotalites emdiensis* Восточно-Европейской провинции (Русская платформа) и зоне *Cibicidoides primus* Западно-Сибирской провинции (Западно-Сибирская равнина) и относятся к зоне *Belemnitella langei* верхов верхнего кампана.

В Примугодзарье и Темирском районе (Актыбинская область, материалы В. И. Гладковой) прослеживаются микрофаунистические зоны кампана, широко распространенные в пределах Восточно-Европейской провинции (Русская платформа). Рассмотренные выше кампанские отложения Тургая могут быть сопоставлены только с верхним кампаном: микрофаунистической зоной *Globorotalites emdiensis* (верхи) и зоной *Belemnitella langei*. Наиболее характерные виды фораминифер здесь, по определению В. И. Гладковой, *Orbignyna inflata* (Reuss), *Globorotalites emdiensis* Vassilenko, *Pseudovalvulinera clementiana laevigata* (Beissel), *Bolivina kalinini* Vassilenko, *Cibicidoides valtzius* Vassilenko, *Praebulimina laevigata* (Beissel).

Этот комплекс в некоторой мере сходен с западносибирским *Cibicidoides primus*, что еще более убеждает нас в позднекампанском возрасте вмещающих его слоев. Зона *Cibicidoides primus* на Русской платформе соответствует зоне *Belemnitella langei*. Э. Н. Кисельман [7] впервые отметила соответствие верхней подзоны с видами-индексами *Bolivinooides maliaris*, *B. decoratus* верхней части зоны *Spiroplectammina optata* позднекампанской зоне с *Belemnitella langei*. Нашими исследованиями также доказана корреляция слоев с *C. primus* зоны

Belemnitella langei. На Русской платформе совместно с *Belemnitella langei*, как сообщает Н. И. Леонгарт [10], встречаются фораминиферы, из которых наиболее характерны *Cibicidoides aktulagayensis* (Vassilenko) и *Brotzenella monterelensis* (Marie). По верхнему пределу распространения первого вида можно проводить границу кампана и маастрихта. Однако в пределах Западной Сибири он встречается и в нижнем маастрихте, а *Brotzenella monterelensis* вовсе отсутствует. Поэтому при сопоставлении комплексов обоих регионов нужно учитывать эти особенности в распространении фораминифер [28].

На юго-востоке (юго-восточный район, окрестности Томска и Северска) в ряде пробуренных скважин обнаружены фораминиферы кампанского яруса (верхи славгородского, низы ганькинского горизонтов (табл. 1, 2).

По комплексам фораминифер с западносибирскими видами-индексами из центрального района (зона *Bathysiphon vitta*, *Recurvoides magnificus*) здесь установлен нижний кампан. Так, в разрезе скв. Н-15 в инт. 279,0–231,8 м обнаружен комплекс фораминифер, обозначенный вторым видом-индексом *Recurvoides magnificus*. Наряду с единичными агглютинированными кварцево-кремнистыми формами определены более разнообразные и многочисленные секреционно-известковые и агглютинированные известковые раковины, мигрировавшие сюда из сопредельных южных провинций, возможно, через установленный В. М. Подобиной [18] Мариинский пролив. Наиболее характерными видами являются *Heterostomella cf. praefoveolata* (Marsson), *Orbignyna variabilis* (Orb.), *Nonionellina taylorensis* (Hofker), *Gavelinella cf. clementiana* (Orb.). Благодаря этим видам слои с фораминиферами, определенными В. М. Подобиной как комплекс с *Recurvoides magnificus*, могут быть сопоставлены с зоной *Gavelinella clementiana* раннекампанского возраста из Восточно-Европейской провинции. Следовательно, самые верхние слои славгородского горизонта, выделяемые в центральном районе Западно-Сибирской провинции в качестве зоны *Bathysiphon vitta*, *Recurvoides magnificus*, относятся к раннему кампану, как и утверждала В. М. Подобина [18, 22, 23].

Позднекампанский комплекс с *Cibicidoides primus*, содержащий многие характерные виды фораминифер, определен в разрезе скв. Н-15 на глубине 231,8 м. В пределах центрального района Западной Сибири слои с этим комплексом относятся к зоне *Cibicidoides primus*, составляющей низы ганькинского горизонта. Некоторые из видов комплекса (*Ataxophragmium cf. crassus* (Orb.) *caspium* Vassilenko, *Ceratobulimina aff. cretacea* Cushman et Harris, *Nonionellina taylorensis* (Hofker), *Cibicidoides cf. voltzius* (Orb.)) характерны для верхнего кампана Казахстанской и Восточно-Европейской провинций Бореально-Атлантической области, к которой в это время относилась и Западно-Сибирская провинция. По присутствию указанных видов можно сопо-



Таблица 1

Зоны и комплексы фораминифер кампана Западной Сибири

Ярус	Подъярус	Горизонт	Зона	Характерные комплексы фораминифер
Кампан	Верхний	Ганькин-ский (низы)	<i>Cibicoides primus</i>	<i>Valvulineria procera</i> Podobina, <i>Dorothia pupoides</i> (Orb.) <i>ovata</i> Podobina, <i>Ataxophragmium crassus</i> (Orb.) <i>caspium</i> Vassilenko, <i>Ceratobulimina cretacea</i> Cushman et Harris, <i>Cibicoides primus</i> Podobina, <i>Cibicoides aktulagayensis</i> (Vassilenko), <i>Nonionellina taylorensis</i> (Hofker)
	Нижний	Славгород-ский (верхи)	<i>Bathysiphon vitta</i> , <i>Recurvoides magnificus</i>	<i>Bathysiphon nodosarieformis</i> Subbotina, <i>Bathysiphon vitta</i> Nauss, <i>Glomospira corona</i> Cushman et Jarvis, <i>Recurvoides magnificus</i> Podobina, <i>Adercotryma glomeratoformis</i> (Zaspelova), <i>Spiroplectammina optata</i> Kisselman, <i>Spiroplectammina variabilis</i> Neckaja

Таблица 2

Схема зонального расчленения и корреляции по бентосным фораминиферам сантона – кампана Западно-Сибирской и Восточно-Европейской провинций

Ярус	Подъярус	Восточно-Европейская провинция [28]	Западно-Сибирская провинция [18]	Горизонт
Кампан	Верхний	<i>Globorotalites emdiensis</i> (верхи)	<i>Cibicoides primus</i>	Ганькинский
		<i>Globorotalites emdiensis</i> , <i>Brotzenella monterelensis</i>	Слои выпадают из разреза	
	Нижний	<i>Cibicoides temirensis</i>		
		<i>Gavelinella clementiana</i>	<i>Bathysiphon vitta</i> , <i>Recurvoides magnificus</i>	Славгородский
Верхний	<i>Gavelinella stelligera</i>	<i>Cribrostomoides exploratus</i> , <i>Ammomarginulina crispa</i>		
	Нижний	<i>Gavelinella infrasantonica</i>	<i>Ammobaculites dignus</i> , <i>Pseudoclavulina admota</i>	

ставить слои с этим комплексом или выделяемую в Западно-Сибирской провинции зону *Cibicoides primus* с зоной *Globorotalites emdiensis* (верхи) Восточно-Европейской провинции. Необходимо отметить, что Западно-Сибирскую провинцию по систематическому составу фораминифер В. М. Подобина относил к Бореально-Атлантической области на протяжении кампана – маастрихта в отличие от аптурон-сантонского времени, когда Западно-Сибирская провинция была частью Арктической области [22, 36] (см. табл. 2).

В северном палеобиогеографическом районе (Пур-Тазовский район), по сведениям В. М. Подобиной и М. И. Таначевой [16], встречены единичные виды зоны *Cibicoides primus* в разрезе скв. 31-р Тазовской площади (гл. 655,0–644,0 м). Из них следует отметить, кроме вида-индекса, *Spiroplectammina variabilis* (Neckaja), *Eponides sibiricus* Neckaja и др.

Еще севернее (с. Антипаюта, с. Новый Порт, Гыданский п-ов) верхнекампанские отложения присутствуют повсеместно, однако охарактеризованы обедненными комплексами фораминифер, в кото-

рых чаще всего встречаются единичные секреторно-известковые бентосные формы. Так, в разрезе Обского района (с. Антипаюта, скв. 2, гл. 303,8–222,2 м; с. Новый Порт, скв. 1, гл. 487,0–474,0 м; мыс Трехбугорный, скв. 3, гл. 362,0–345,0 м; материалы Н. В. Шаровской) В. М. Подобиной определены следующие виды фораминифер: *Spiroplectammina variabilis* Neckaja, *Cyclogyra sibirica* Podobina, *Guttulina trigonula* (Reuss), *Bagginoides quadrilobus* (Mello), *Gyroidinoides turgidus* (Hagenow), *Valvulineria procera* Podobina, *Eponides sibiricus* Neckaja, *Cibicides gankinoensis* Neckaja, *C. globigeriniformis* Neckaja, *Cibicoides primus* Podobina, *Anomalinoidea pinguis* (Jennings) *neckajae* Vassilenko.

Комплексы верхнего кампана выделяются с трудом, так как подстилающие сантон-раннекампанские и покрывающие маастрихтские отложения совместно с позднекампанскими характеризуются обедненным видовым составом фораминифер, за исключением единичных форм, позволяющих с большой долей условности расчленить исследуемую часть разреза Обского района.

В Северной Канаде [38] и на Северной Аляске [37] кампанские отложения выражены неотчетливо. Единичные фораминиферы, приуроченные к верхним слоям формаций вэпиаби (Chungo и Nomad member) и шрейда блаф (Sentinel Hill member), мало характерны для кампанских отложений. Они соответствуют самым верхним слоям славгородской свиты, включающей комплекс фораминифер с *Bathysiphon vitta*, *Recurvoides magnificus*. Вышележащие отложения позднего кампана – маастрихта здесь не установлены.

Вместе с фораминиферами обнаружены единичные остракоды, типичные для кампан-маастрихтских отложений Западно-Сибирской провинции. В целом позднекампанский комплекс остракод из нижних слоев ганькинской свиты очень сходен с вышележащим маастрихтским.

Маастрихтский ярус (K_2m)

К этому ярусу в Западной Сибири отнесены отложения ганькинской свиты одноименного горизонта за исключением ее нижних слоев, которые, как указывалось, являются верхней частью кампана. Свита широко распространена и отсутствует лишь в непосредственной близости к южному и юго-восточному горным обрамлениям равнины, а также на сводах некоторых структур. Мощность ее достигает 120 м. Отложения представлены довольно однообразной толщей известковых серых, иногда опоковидных (в северном и северо-западном районах) глин и алевролитов, включающих обычно большое количество обломков пелеципод, гастропод, белемнитов, фораминифер, остракод и других организмов. В самой верхней части свиты на территории р. Парабель залегают маломощные линзовидные прослои оолитовых руд гидрогетит-лептохлоритового состава. Восточнее с. Напас прослои ожелезненных песчаников соотносятся со всей ганькинской свитой. В толще пород этой свиты отчетливо выделяются две зоны фораминифер: нижняя *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* и верхняя *Spiroplectamina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi*, каждая из которых соответствует нижнему и верхнему маастрихту [3, 9, 15, 18, 20, 23, 22, 33, 35].

Нижний подъярус (K_2m_1)

Зона *Spiroplectamina variabilis*,
Gaudryina rugosa spinulosa

В и д ы - и н д е к с ы : *Spiroplectamina variabilis* Neckaja (А. И. Нецкая, 1948, с. 213, табл. I, фиг. 1) [12]; *Gaudryina rugosa* Orbigny *spinulosa* Neckaja (А. И. Нецкая, 1948, с. 217, табл. I, фиг. 8) [12].

Т и п о в о й р а з р е з . Нововасюганская опорная скв. 1-р, гл. 736,0–645,0 м. Мощность 90 м.

Зональный комплекс фораминифер в стратотипе приведен в работе В. М. Подобиной [22, с. 47].

Зона нижнего маастрихта впервые установлена Л. Г. Дайн в 1937 г. в разрезе Шумихинской скважины Челябинской области (данные опубликованы

в 1961 г.). Как виды-индексы Л. Г. Дайн определены *Spiroplectamina kelleri* Dain, *Bolivina decurrens* (Ehrenberg).

Э. Н. Кисельман [7] для данной зоны предложила другие виды-индексы: *Spiroplectamina variabilis* Neckaja, *Gaudryina rugosa* Orb. *spinulosa* Neckaja. На стратиграфических совещаниях в Тюмени в 1969, 1976 гг. [29, 32] исследуемая зона выделена с этими двумя видами-индексами и, по предложению Э. Н. Кисельман [7], разделена на две подзоны. Авторами данной статьи эти подзоны не прослежены.

Литологически отложения зоны представлены известковыми серыми алевролитами и глинами нижней части ганькинской свиты мощностью от 15 до 90 м и более. Нижняя ее граница проводится по появлению значительного количества раковин видов-индексов (более 10 экз. на 100 г породы), а также видов *Bulimina quadrata* Plummer, *Reussella minuta* (Marsson), *Pseudouvirgerina plammerae* Cushman и др. Верхняя граница отделяется по появлению видов-индексов вышележащей зоны и ряда других характерных видов.

В центральном районе в зоне повсеместно в обилии встречены фораминиферы; реже остракоды, иглы и панцири ежей, раковины моллюсков. Комплекс фораминифер состоит из 112–120 видов преимущественно секреторно-известковых раковин, среди которых, кроме указанных, наиболее характерны *Valvulineria imitata* (Olsson), *Eponides proprius* Podobina, *Anomalinoidea minuta* Mello, *A. justus* Podobina, *Brotzenella pseudopapillosa* (Carsey), *Bolivina decurrens* (Ehrenberg) и др.

В пробуренных скважинах получены дополнительные данные о раннемаастрихтском комплексе. Он обнаружен в разрезах скважин центрального района, пробуренных Парбигской партией: 15 (гл. 304–262,0 м), 20 (гл. 292,0–245,0 м), 37 (гл. 244,0–234,0 м), 45 (гл. 240,0 м), 60 (гл. 314,0–255,0 м), 83 (гл. 218,0–201,0 м). В них раннемаастрихтский комплекс фораминифер обилен и разнообразен по систематическому составу. Для примера приведем систематический состав комплекса из разреза скв. 37 (Парбигская партия), где в пяти образцах средней части ганькинской свиты (гл. 244–234 м) в известковых серых алевролитовых плотных глинах обнаружены обильные фораминиферы (до 100 экз. и более) и остракоды (до 20–25 экз.). Фораминиферы выделены в комплексе со *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* [7, 18, 20, 22, 23, 36].

Комплекс довольно разнообразен в видовом отношении, что сочетается с обилием особей некоторых видов. В его составе установлены *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Saccamina sphaerica* (M. Sars), *Glomospira gordialiformis* Podobina, *G. corona* Cushman et Jarvis, *Ammodiscus cretaceus* (Reuss), *A. glabratus* Cushman et Jarvis, *Cribrostomoides exploratus* Podobina, *Recurvoides optivus* Podobina, *Cyclammina flexuosa* Podobina, *Spiroplectamina variabilis* Neckaja, *S. kelleri* Dain,



Рис. 3. Зона *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa*. Тюменская область (Федоровская партия), скв. 22-к, гл. 198,5 м; ганькинский горизонт, маастрихтский ярус, нижний подъярус; $\times 40$. Северо-западный палеобиогеографический район Западно-Сибирской провинции

1–2 – *Bathysiphon vitta* Nauss; 3 – *Psammosphaera fusca* Schultze; 4 – *Saccamina sphaerica* (M. Sars); 5 – *Ammodiscus cretaceus* (Reuss); 6 – *Adercotryma glomeratoformis* (Zaspelova); 7 – *Recurvooides optivus* Podobina; 8 – *Cyclammina flexuosa* Podobina; 9 – *Spiroplectamina variabilis* Neckaja; 10 – *S. kelleri* Dain

Verneuilioides canadensis (Cushman), *Martinotinella meidamos* (Mello), *Gaudryina rugosa* Orb. *spinulosa* Neckaja, *Nodosaria zippei* Reuss, *N. sagrinensis* Bagg, *Rectoglandulina sibirica* Podobina et Orlov, *Lagena globosa* (Montagu), *L. multistriata* Marsson, *Dentalina legumen* (Reuss), *D. basiplanata* Cushman, *D. filiformis* Reuss, *D. tumidiuscula* Podobina et Orlov, *Lenticulina chantyensis* Putrja, *L. truncata* (Reuss), *L. tchizapkenensis* Podobina et Orlov, *Robulus trachyomphalus* (Reuss), *Astacolus fabaceus* Podobina et Orlov, *Pyrulina cylindroides* (Roemer), *Globulina lacrima* (Reuss) *sub-sphaerica* (Berthelin), *Globulina* aff. *oolithica* Terquem, *Guttulina trigonula* (Reuss), *G. pseudoaustriaca* Kusina, *G. cretacea* Alth., *G. acutata* Kusina, *Oolina obeliscata* Mello, *Globulina lacrima* (Reuss) *aculeanta* Kseneva, *Sigmomorphina elongata* Kseneva, *Sigmoidella oculata* (Kusina), *Fissurina orbignuana* Seguenza, *F. laevigata* Reuss, *F. globosa sibirica* Podobina et Orlov, *Valvulinoides umovi* (Kyprianova), *Gyroidinoides turgidus*

(Hagenow), *G. obliquaseptatus* (Mjatliuk), *Eponides sibiricus* Neckaja, *Reinholdella brotzeni* Olsson, *Bagginoides quadrilobus* (Mello), *Cibicides globigeriniformis* Neckaja, *C. gankinoensis* Neckaja, *Anomalinoides pinguis* (Jennings) *neckajae* Vassilenko, *Gyroidinoides falsiplanktonicus* (Mjatliuk), *Cibicoides primus* Podobina, *Allomorphinella nonioninoides* Dain, *Pullenia americana* Cushman, *P. kasakhstanica* Dain, *Nonionellina pseudoinsecta* (Putrja), *Rugoglobigerina cretacea* (Orb.), *Bulimina omskensis* Kisselman, *Guembelina globulosa* (Ehr). Преобладают представители родов *Spiroplectamina*, *Gyroidinoides*, *Eponides*, *Cibicides*, *Anomalinoides* и др.

Обильные и разнообразные комплексы фораминифер маастрихта известны из разрезов скважин бассейна р. Парабель (Сенькинский отряд) и р. Чижайка (Чижайская партия). Находки комплексов фораминифер двух указанных зон бассейна р. Парабель приведены в табл. 3.

Таблица 3

Находки комплексов фораминифер двух указанных зон бассейна р. Парабель

Скважины (бассейн р. Парабель)	Глубина взятия керна, м	
	Зона <i>Spiroplectammina variabilis</i> , <i>Gaudryina rugosa spinulosa</i>	Зона <i>Spiroplectammina kasanzevi</i> , <i>Bulimina rosenkrantzi</i>
23	302–321	232–302
26	269–299	219–268
27	202–308	–
28	228,7–285	227,5

В разрезах скв. 27 (инт. 286–301,9 м) и 28 (инт. 252,0–260,0 м) среди отложений, вмещающих комплекс со *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa*, обильны планктонные формы видов *Globigerina cretacea* (Orbigny), *Guembelina globulosa* (Ehrenberg) (до 100 экз. и более на 100 г породы). В бассейне р. Чижанка (Чижанская партия) ввиду размыва части отложений наблюдается полное выпадение верхней зоны из разреза. Нижняя зона *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* прослежена в скв. 5-к в инт. 292,0–323,0 м, 10-к – в инт. 254,0–298,0 м, 15-к – в инт. 274,0–319,0 м (Чижанская партия). Видовой состав комплекса этой зоны во всех приводимых разрезах скважин примерно одинаков и соответствует комплексу из разреза скв. 37 бассейна р. Чузик (Парбигская партия).

Для данного комплекса наиболее характерно присутствие видов *Spiroplectammina variabilis* Neckaja, *S. kelleri* Dain, *Gaudryina rugosa spinulosa* Neckaja, *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman) *distincta* Podobina, *Biglobigerinella abberanta* (Neckaja), *B. multispina* Lalicker, *Bulimina quadrata* Plummer, *Bolivinoidea senonicus* Dain, *Bolivina plaita* Carsey. Раковины первых четырех видов из разреза скв. 37 имеют агглютинированную стенку, состоящую из зерен кальцита, скрепленных карбонатным цементом, остальные виды представлены секреционно-известковыми раковинами. Все формы комплекса достигли полного развития, обычно хорошей сохранности и очень разнообразны в видовом отношении, что указывает на благоприятные условия существования в мелководном бассейне с относительно высокой температурой вод. Большинство из видов комплекса характерны для маастрихтских отложений сопредельных провинций (Восточно-Европейской и Казахской).

Совместно с фораминиферами встречены разнообразные остракоды, большинство из которых представлено хорошо сохранившимися разрозненными створками: *Cytherella obovata* Jones et Hinde, *C. temporalis* Mandelstam, *Argilloecia graphica* Lubimova, *A. harrisi* (Jones), *A. transitiva* Mandelstam et Lubimova, *Krithe simplex* (Jones et Hinde),

Procytheropteron virgineum (Jones), *Clitrocytheridea schweyeri* Liepin, *Rutenella stricta* Mandelstam, *Cythereis notabilis* Liepin. *C. finitima* Lubimova, *Loxococoncha impondis* Mandelstam et Lubimova, *Orthonotacythere sibirica* Liepin, *O. juvenes* Lubimova, *O. elegans* Liepin, *O. austri* Liepin, *Xesteroleberis vendibilis* Mandelstam, *X. triangularis* Mandelstam. Створки многих остракод снабжены разнообразными скульптурными элементами довольно хорошей сохранности. Подобные виды мельчайших ракообразных обычно распространены по всей толще маастрихта, но по ним пока невозможно установить более узко вертикально распространенные комплексы [11].

В целом в комплексе обильны (90 %) представители секреционно-известковых и агглютинированно-известковых форм. Агглютинированных кварцево-кремнистых раковин меньшинство, они имеют второстепенное значение. Раковины в исследуемом комплексе центрального района хорошей сохранности, преимущественно секреционно-известковые, что указывает на повышение температуры бассейна и другие благоприятные условия для обитания этих форм.

Раннемаастрихтские отложения были изучены в разрезах скважин восточного района. Так, в разрезе скв. 30 Кетского отряда (гл. 179,0–183,0 м) комплекс фораминифер очень обеднен как в количественном, так и в видовом отношении. Общий видовой состав комплекса следующий: *Spiroplectammina variabilis* Neckaja, *Spiroplectammina* cf. *baudouiniana* (Orbigny), *Nodosaria* cf. *zippei* Reuss, *Gyroidinoides turgidus* (Hagenow), *Valvulineria procera* Podobina, *Eponides sibiricus* Neckaja, *Epistomina fax* Nauss, *Nonionellina taylorensis* (Hofker), *Cibicidoides primus* Podobina. В несколько большем количестве экземпляров (до 15 на 100 г породы) встречаются *Spiroplectammina variabilis* Neckaja, *Gyroidinoides turgidus* (Hagenow). Вместе с фораминиферами встречены единичные остракоды (3 экз.) вида *Clitrocytheridea* aff. *schweyeri* Liepin. Указанные виды фораминифер здесь, как и в других районах равнины, обычно приурочены к средней части ганькинской свиты и соответствуют зоне *Spiroplectammina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa*. Следует отметить, что вид-индекс *Gaudryina rugosa spinulosa* в данном районе встречается сравнительно редко.

Еще более редкие фораминиферы обнаружены в разрезе скв. 13, пробуренной Кетским отрядом на гл. 229,0 м, слои с которыми условно по положению в разрезе отнесены к нижнему маастрихту: *Guttulina trigonula* (Reuss), *Eponides sibiricus* Neckaja, *Cibicides globigeriniformis* Neckaja.

В бассейне р. Пайдугина (Пайдугинская партия) раннемаастрихтский комплекс восточного района исследован по разрезам скв. 10, 20, 22, 25, 37. Видовой и количественный состав фораминифер очень обеднен, виды-индексы обычно отсутствуют. Комплекс фораминифер состоит из 5–6 видов и по присутствию отдельных характерных видов и (реже) по



положению слоев в разрезе ганькинского горизонта относится к нижнему маастрихту.

Э. Н. Кисельман в свое время выделила в восточном районе слои со *Spiroplectamina variabilis*, по положению в разрезе соответствующие вышеуказанной зоне [33]. В комплексе восточного района, как и центрального, преобладают виды с секреторно-известковой раковиной, хотя и обедненного систематического состава.

Агглютинированные с кварцево-кремнистой стенкой фораминиферы обнаружены в комплексе северо-западного района (Федоровская партия) (см. рис. 3). В Зауралье (западный район) в разрезе Туринской скв. 1-р, по данным Ф. В. Киприяновой, нижняя зона маастрихта прослежена на глубине 331,0–328,0 м. Довольно значительно количество экземпляров агглютинированно-известковых форм, наряду с которыми основа систематического состава – виды секреторно-известковых раковин.

В юго-восточном районе отложения нижнего маастрихта обнаружены в разрезах двух скважин: скв. ЗН-1, инт. 275,4–272,5 и скв. Н-15, глубина 229,4–229,2 м. В них установлен комплекс фораминифер со *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa*, в Западной Сибири слои с этим комплексом относятся к одноименной зоне. Западносибирский раннемаастрихтский комплекс довольно разнообразен в видовом отношении. В разрезе скв. ЗН-1 (гл. 275,4–272,5 м) определены 32 характерных вида, но в центральном районе их более сотни. По составу многих характерных видов западносибирская зона *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* коррелируется с раннемаастрихтскими

зонами *Angulogavelinella gracilis*, *Brotzenella complanata* Восточно-Европейской провинции (табл. 4).

Отложения нижнего маастрихта установлены и в разрезе скв. Н-15 на глубинах 229,4–229,2 м, где обнаружен очень разнообразный по составу видов комплекс фораминифер. Характерны для раннемаастрихтского возраста виды *Orbignyna cf. pinguis* Voloshinova, *Pseudouvigerina cristata* (Marsson), *Cibicoides aff. veltzianus* (Orb.), *Stensioeina praecaucasica* Vassilenko, известные на данном стратиграфическом уровне в сопредельных провинциях. Открывшиеся пути миграции и обмена западносибирских фораминифер с таковыми из соседних провинций в пределах единой Бореально-Атлантической области обогатили западносибирские кампан-маастрихтские комплексы южными видами-мигрантами, использованными для уточнения возраста отдельных фораминиферовых зон ганькинского горизонта Западно-Сибирской провинции.

Не вызывает сомнения раннемаастрихтский возраст комплекса с *Gaudryina rugosa spinulosa* (разрез скв. Е-145), однако он плохо сопоставим с таковыми других районов Западной Сибири из-за почти полного отсутствия известковых форм. Единичные мелкие псевдоморфозы, принадлежащие к раковинам роталиид, не дают основания для подобных сопоставлений. Присутствие зонального вида и положение слоев в разрезе определяют их возраст как раннемаастрихтский. На юго-востоке верхнемаастрихтские слои не установлены, поскольку здесь, как и на востоке, они обычно опесчаниваются или значительно сокращаются по мощности. В разрезе скв. Е-145 условно намечено их положение между микрофаунистически охарактеризованными слоями

Таблица 4

Корреляция фораминиферовых зон и слоев кампана – маастрихта Западно-Сибирской и Восточно-Европейской провинций

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Западно-Сибирская провинция		Восточно-Европейская провинция	
				Горизонт	Юго-восточный район (район Томска и Северска)		
				Центральный район	Слои	Зоны	
МЕЛОВАЯ	Верхний	Маастрихт	Ганькинский	Верхний	<i>Spiroplectamina kasanzevi</i> , <i>Bulimima rosenkrantzi</i>	Не обнаружены	<i>Hanzawaia ekblomi</i>
				Нижний	<i>Spiroplectamina variabilis</i> , <i>Gaudryina rugosa spinulosa</i>	<i>Spiroplectamina variabilis</i> , <i>Gaudryina rugosa spinulosa</i>	<i>Brotzenella complanata</i> , <i>Angulogavelinella gracilis</i>
	Верхний	<i>Cibicoides primus</i>		<i>Cibicoides primus</i>	<i>Globorotalites emdyensis</i> (верхи)		
	Кампан	Нижний	Славгородский (верхи)	<i>Bathysiphon vitta</i> , <i>Recurvoides magnificus</i>	<i>Recurvoides magnificus</i>	<i>Gavelinella clementiana</i>	



нижнего маастрихта и зеландия (средний палеоцен), но позднемаастрихтский комплекс фораминифер здесь не обнаружен.

Совместно с фораминиферами встречены разнообразные остракоды, большинство из которых представлено хорошо сохранившимися единичными створками вышеуказанных видов. Многие из них снабжены разнообразными скульптурными элементами довольно хорошей сохранности. Подобные виды мельчайших ракообразных обычно распространены по всей толще маастрихта, но по ним пока не установлены более узко вертикально распространенные комплексы.

Верхний подъярус (K_2m_2)
Зона *Spiroplectamina kasanzevi*,
Bulimina rosenkrantzi

Виды - индексы: *Spiroplectamina kasanzevi* Dain (Л. Г. Дайн, 1961, с. 24–26, табл. II, фиг. 2–4) [3]; *Bulimina rosenkrantzi* Brotzen (J. Brotzen, 1948, с. 61, табл. IX, фиг. 1) [34]; В. М. Подобина, 2000, с. 50, табл. XI, фиг. 6) [22].

Типовой разрез. Нововасюганская опорная скв. 1-р, гл. 645,0–605,0 м. Мощность 40 м.

Зональный комплекс в стратотипе приведен В. М. Подобиной [22, с. 50].

Зона впервые установлена Л. Г. Дайн в 1937 г. и опубликована в 1961 г. в разрезе Шумихинской скважины в Челябинской области с видами-индексами *Spiroplectamina kasanzevi* Dain, *Heterostomella foveolata* (Marsson) и датирована позднемаастрихтским возрастом. Впоследствии Э. Н. Кисельман [7] заменила второй вид-индекс на *Bulimina rosenkrantzi* Brotzen. На стратиграфическом совещании в Тюмени в 1967 г. второй вид-индекс был исключен, зона указывалась с одним – *Spiroplectamina kasanzevi* Dain. Но в последней схеме [31] его восстановили. Авторы данной статьи сочли необходимым оставить второй вид-индекс *Bulimina rosenkrantzi* Brotzen для названия зоны [9, 15, 18, 20, 22, 23, 36]. Этот вид впервые выделен Ф. Бротценом из палеоценовых отложений Швеции. Возможно, в пределах Западно-Сибирской равнины он начал свое существование несколько раньше, уже с позднемаастрихтского времени.

Не исключено, что в процессе дальнейшей монографической обработки этой сходной с палеоценовым видом группы особей уточнится их систематическое положение [30–32].

Литологически отложения зоны представлены известковыми серыми алевролитами и глинами верхней части ганькинской свиты одноименного горизонта мощностью от 10 до 45 м и более.

Нижняя граница зоны устанавливается по первым находкам видов-индексов, верхняя – по появлению *Brotzenella praeacuta* (Vassilenko), как и других датских видов, по общему обеднению систематического и количественного состава комплекса. В отложениях зоны встречены обильные фораминиферы,

реже – остракоды, иглы и панцири ежей, раковины моллюсков. Комплекс фораминифер состоит из 116–120 видов, на долю секреторно-известковых форм приходится примерно более 100 видов. Наиболее характерны *Heterostomella foveolata* (Marsson), *Quinqueloculina fusiformis* Putrja, *Anomalinoidea justus* Podobina, а также *Brotzenella pseudopapillosa* (Carsey), впервые появляющиеся на данном стратиграфическом уровне. Комплекс широко распространен в пределах южной половины равнины, встречен почти во всех изученных разрезах центрального района. В окраинных районах отложения зоны часто выпадают из разреза. В центральном районе слои с позднемаастрихтским комплексом обнаружены в разрезах скважин, пробуренных Парбигской партией: 15 (гл. 258,0–232,0 м) и 52 (гл. 266,0–244,0 м). Здесь преобладают представители отрядов Rotaliida, Buliminida и Heterohelicida. Встречены также оба вида-индекса *Spiroplectamina kasanzevi* и *Bulimina rosenkrantzi*, что позволяет отнести исследуемые отложения к верхней зоне маастрихта. В Зауралье (западный район) в разрезе Туринской опорной скв. 1-р зона прослежена на глубине 328,0–319,0 м. Комплекс зоны здесь отличается преобладанием агглютинированных известковых форм, а широко распространенные представители милиолид, лагенид, булимид и гетерогелицид, обладающие секреторно-известковой раковиной, здесь единичны или совсем отсутствуют. Комплекс в основном определяется по зональному виду *Spiroplectamina kasanzevi*, представленному единичными особями. Отдельные подзоны верхней зоны, установленные Э. Н. Кисельман [7], авторами данной статьи не выделяются.

Верхняя зона маастрихта со *Spiroplectamina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi* в бассейне р. Чижайка (Чижайская партия) в центральном районе прослежена в разрезах скв. 1-к (инт. 330,0–350,0 м) и 9-к (инт. 306,0–353,0 м), а в разрезах скв. 5-к, 10-к и 15-к пока не обнаружена.

Комплекс данной зоны рассмотрим только по разрезу скв. 1-к. В его составе определены виды *Rhizammina indiviza* Brady, *Bathysiphon vitta* Nauss, *Glomospira gordialiformis* Podobina, *G. corona* Cushman et Jarvis, *Haplophragmoides kirki* Wickenden, *Recurvoidella sewellensis* (Olsson) parvus (Belousova), *Cyclammia flexuosa* Podobina, *Adercotryma glomeratoformis* (Zaspelova) *Ammobaculites agglutiniformis* Podobina, *Ammomarginulina crispa* (Kyprianova), *Spiroplectamina kasanzevi* Dain, *S. variabilis* Neckaja, *S. brevis* Kisselman, *Spiroplectinella boudouiniana* (Orbigny), *Verneuillinoidea polystropha* (Reuss), *Dorothia pupoides* (Orbigny) *ovata* Podobina, *Siphogaudryina stephensoni* (Cushman) *distincta* Podobina, *Martinotiella meidamos* (Mello), *Arenogaudryina granosa* Podobina, *Quinqueloculina moremani* Cushman *triangulara* Putrja, *Q. stolleyi* Brotzen *kasarinovi* Putrja, *Q. fusiformis* Putrja, *Triloculina sphaerica* Putrja, *Nodosaria pseudoscripta* Cushman *sibirica* Balakhmatova, *Denta-*

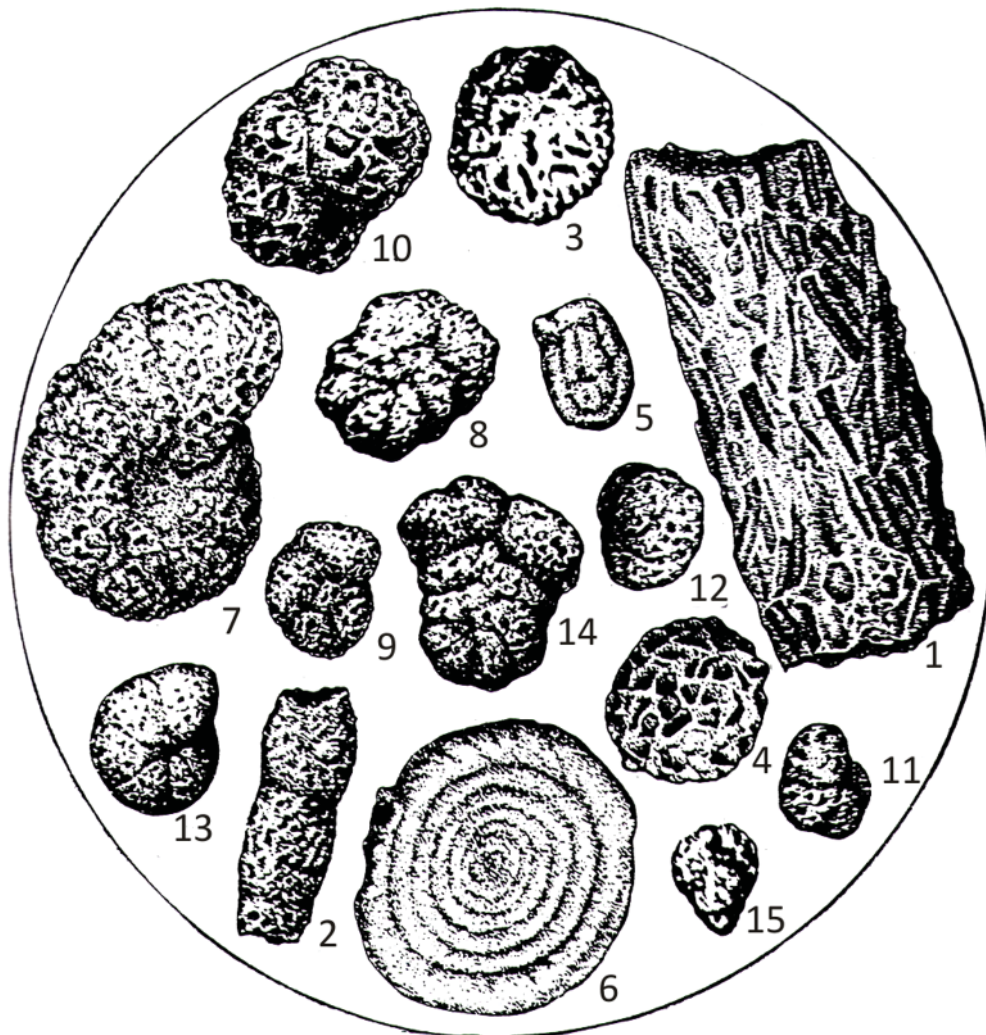


Рис. 4. Зона *Spiroplectammina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi*. Тюменская область (Федоровская партия), скв. 22-к, гл. 194,5 м; ганькинский горизонт, маастрихтский ярус, верхний подъярус; $\times 40$. Северо-западный палеобиогеографический район Западно-Сибирской провинции

1 – *Rhabdammina cylindrica* Glaessner; 2 – *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina; 3 – *Saccammina sphaerica* (M. Sars); 4 – *Psammosphaera fusca* Schultze; 5 – *Glomospira gordialisformis* Podobina; 6 – *Ammodiscus cretaceus* (Reuss); 7 – *Labrospira senonica* Podobina; 8–9 – *Haplophragmoides tumidus* Podobina; 10 – *Adercotryma glomeratoformis* (Zaspelova); 11 – *Recurvoides optivus* Podobina; 12 – *Cribrostomoides exploratus* Podobina; 13 – *Alveophragmium gratum* Podobina; 14 – *Spiroplectammina kasanzevi* Dain; 15 – *Arenogaudryina granosa* Podobina

lina lorneiiana Orbigny, *D. consobrina* Orb., *D. legumen* (Reuss), *D. basiplanata* Cushman, *D. catenula* (Reuss), *Oolina obeliscata* Mello, *Lagena globulosa* (Montagu), *Fissurina orbignuana* Seguenza, *F. clathrata* (Brady), *F. marginata* (Walker et Jacob), *Lenticulina rotulata* (Lamarck), *L. turinensis* Putrja, *L. tumenica* Putrja, *Astaculus jarvisellus* Mello, *Robulus grauli* Putrja, *Marginulina curvatura* Cushman, *Marginulina* sp., *Guttulina acutata* Kusina, *G. trigonula* (Reuss), *G. cretacea* Alth., *Globulina raketa* Kusina, *G. veronikae* Dain, *G. lacrima* (Reuss) *subsphaerica* Berthelin, *Sigmomorphina elongata* Kseneva, *Sigmoidella acutata* (Kusina), *Globulina lacrima* (Reuss) *aculeanta* Kseneva, *Pyrulina cylindroides* (Roemer), *P. basiformis* (Roemer), *Polymorphina incavata* Stache *deplanata* Kusina, *Rectoglandulina apressa* Loe-

blich et Tappan, *R. bistegia* (Olszewski), *R. laevissima* (Terquem), *Heterostomella foveolata* (Marsson), *Valvulineria imitata* (Olsson), *Valvulinoides umovi* (Kyprianova), *Gyroidinoides turgidus* (Hagenow), *G. obliquaseptatus* (Mjatljuk), *G. beresoviensis* (Balakhmatova), *Bagginoides quadrilobus* (Mello), *Eponides sibiricus* Neckaja, *E. proprius* Podobina, *Epistomina fax* Nauss, *Cibicides gankinoensis* Neckaja, *C. globigeriniformis* Neckaja, *Cibicidoides primus* Podobina, *Anomalinoides pinguis* (Jennings) *neckajae* Vassilenko, *A. minuta* (Mello), *A. falsiplanctonicus* (Balakhmatova), *A. justus* Podobina, *Brotzenella pseudopapillosa* (Carsey), *Pullenia kasakhstanica* Dain, *P. americana* Cushman, *Biglobigerinella abberanta* (Neckaja), *Hastigerina aspera* (Ehrenberg) *digitata* Subbotina, *Quadriformina al-*

lomorphioides (Reuss), *Allomorphinella nonioninoides* Dain, *Praebulimina carseyae* (Plummer), *P. reussi* (Morrow) *fulgida* Freiman, *Bulimina rosenkrantzi* Brotzen, *B. trihedra* Cushman *uralica* Ehretneeva, *Reussella minuta* (Marsson), *Bolivina plaita* Carsey.

В указанном комплексе преобладают в основном раковины с секреторно-известковой стенкой, а агглютированные известковые и кварцево-кремнистые формы в количественном и видовом отношении занимают подчиненное положение. Раковины с секреторно-известковой стенкой наиболее многочисленны (до 50 экз. и более на 100 г породы); это представители родов *Valvulineria*, *Gyroidinoides*, *Eponides*, *Epistomina*, *Anomalinoidea*, *Cibicides*, *Biglobigerinella*, *Hastigerina*, *Bulimina*, *Reussella*, *Bolivina*. Фораминиферы отличаются большим разнообразием видов и хорошей сохранностью, что указывает на благоприятные условия их существования в относительно мелководном эпиконтинентальном бассейне с нормальной соленостью и повышенной температурой вод. В унифицированных стратиграфических схемах [29, 32] в качестве зонального вида выделяется один – *Spiroplectamina kasanzevi*. Однако, по мнению авторов, не менее характерен для этой части разреза и второй вид – *Bulimina rosenkrantzi* Brotzen, впервые выделенный Ф. Бротценом [34] из палеоценовых отложений Швеции.

Вид *Bolivina plaita* Carsey, встречающийся в единичных экземплярах в отложениях нижней части маастрихта, здесь представлен большим числом особей (до 100 экз. и более на 100 г породы).

Характерен также вид *Brotzenella pseudopapillosa* (Carsey), впервые появившийся на данном стратиграфическом уровне (не более 10–20 экз. на 100 г породы). Из других характерных видов для верхней части разреза следует упомянуть *Heterostomella foveolata* (Marsson), *Quinqueloculina fusiformis* Putrja, *Anomalinoidea minuta* (Mello), *A. justus* Podobina и др.

Вместе с фораминиферами во всех образцах Чижапского разреза (скв. 1-к) встречено большинство из указанных ранее видов остракод.

Маастрихтские комплексы фораминифер обеих зон Западно-Сибирской провинции сопоставлены с соответствующими зонами Восточно-Европейской провинции (Русской платформы) [28], что подтверждает их ранне- и позднемаастрихтский возраст.

Выводы

Кампанские отложения (верхи славгородской свиты одноименного горизонта и низы ганькинской свиты (горизонта) в Западной Сибири присутствуют не в полном объеме. В ганькинском горизонте по фораминиферам в верхах верхнего кампана установлены зона *Cibicidoides primus*, соответствующая белемнитовой зоне *Belemnitella langei*, в центральном районе – стратотипы всех трех зон (верхнего кампана, нижнего и верхнего маастрихта) – в Нововасюганской опорной скв. 1-р [22]. В низах ганькинской свиты (горизонта) зона верхнего кампана

выделена с одним видом-индексом – *Cibicidoides primus* [18]. В составе стратотипа зоны *Cibicidoides primus* и других разрезах центрального палеобиогеографического района обнаружен обильный позднекампанский комплекс фораминифер с характерными видами, в основном состоящими из секреторно-известковых и агглютированных известковых раковин фораминифер. Во многих разрезах в известковых серых алевролитах и глинах здесь определен обильный комплекс фораминифер позднего кампана, насчитывающий около сотни видов. В окраинных районах разнообразие видов резко сокращается, что сочетается с единичным их количеством (от 3 до 10 экз. каждого вида). В. М. Подобиной [17] отмечено выпадение из разреза верхов нижнего и нижней части верхнего кампана, что в Восточно-Европейской провинции соответствует части зоны *Goniotothis quadrata*, зоне *Belemnitella mucronata*, фораминиферовым зонам – верхней части *Brotzenella insignis* и целой зоне *Brotzenella monterelensis*. Особенно резко отличается видовой состав фораминифер в северо-западном районе (Федоровская партия, скв. 22), где единичные раковины этих фораминифер имеют агглютированную кварцево-кремнистую стенку (см. рис. 2–4).

В разрезе Нововасюганской опорной скв. 1-р, так же как и для верхнего кампана, определено положение стратотипов и видовой состав двух маастрихтских фораминиферовых зон: нижняя *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* и верхняя *Spiroplectamina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi* (см. табл. 4).

Исследован видовой состав всех трех зон ганькинского горизонта в других разрезах центрального района и в окраинных районах Западно-Сибирской провинции. Исследование фораминифер и моллюсков Западно-Сибирской, их сравнение с таковыми Восточно-Европейской провинции подтверждает возраст двух вышележащих зон: *Spiroplectamina variabilis*, *Gaudryina rugosa spinulosa* (ранний маастрихт) и *Spiroplectamina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi* (поздний маастрихт).

На основании проведенных сопоставлений сантон-раннекампанских комплексов фораминифер Западно-Сибирской и Канадской [37, 38] провинций установлено сходство составляющих их таксонов на родовом и видовом уровнях. По комплексам фораминифер Западно-Сибирская и Канадская провинции отнесены к Арктической палеобиогеографической области одноименного циркумполярного пояса [18, 22]. В позднем кампане – маастрихте определены расширенные связи Западно-Сибирского бассейна (провинции) с южными морями, появляется карбонатность в терригенных породах ганькинской свиты (горизонта) и резко изменяется систематический состав фораминифер. Преобладают уже не агглютированные кварцево-кремнистые (как в сантоне – нижнем кампане), а секреторно-



онно-известковые и агглютинированно-известковые формы, среди которых найдены общие позднекампан-маастрихтские виды с таковыми сопредельных провинций: Восточно-Европейской и Казахской. Это уже провинции Бореально-Атлантической области Бореального пояса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Безруков П. Л.** Верхнемеловые и палеогеновые отложения бассейна верховьев р. Тобола // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 1934. – Т. 12, вып. 2. – С. 167–199.
2. **Василенко В. П.** Фораминиферы верхнего мела п-ова Мангышлака // Тр. ВНИГРИ. – 1961. – Вып. 171. – С. 2–486.
3. **Дайн Л. Г.** Некоторые виды фораминифер меловых отложений Шумихинского района Челябинской области // Микрофауна СССР. – Л.: Гостоптехиздат, 1961. – С. 4–42. – (Тр. ВНИГРИ. Нов.сер.; вып. 170).
4. **Еремеева А. И., Белоусова Н. А.** Стратиграфия и фауна фораминифер меловых и палеогеновых отложений восточного склона Урала, Зауралья и Северного Казахстана // Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып. 9. – М., 1961. – С. 3–189.
5. **Калинин Н. А.** Фораминиферы меловых отложений Бактыгарына (Актюбинская область) // Этюды по микропалеонтологии. – 1937. – Т. 1, вып. 2. – 61 с.
6. **Кисельман Э. Н.** Микрофаунистические зоны ганькинской свиты Западно-Сибирской низменности // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири. – Л.: Гостоптехиздат, 1960. – С. 163–175. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 8).
7. **Кисельман Э. Н.** Расчленение верхнененонских отложений Западно-Сибирской низменности по фораминиферам (верхняя часть верхнего кампана, маастрихт) // Материалы по стратиграфии и палеонтологии Сибири. – Новосибирск, 1969. – С. 116–124. – (Тр. СНИИГГиМС; Сер. регион. геол.; вып. 84).
8. **Ксенева Т. Г.** Комплексы фораминифер позднего кампана Западной Сибири // Проблемы геологии Сибири: тез. докл. науч. конф., посвящ. 75-летию геологического образования в Томском университете. – Томск: ТГУ, 1996. – С. 153–154.
9. **Ксенева Т. Г.** Фораминиферы кампана – маастрихта Западной Сибири, их значение для стратиграфии и палеоэкологии: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Новосибирск, 1999. – 25 с.
10. **Леонгардт Н. И.** Граница кампанского и маастрихтского ярусов на юго-востоке Русской платформы // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. – 1971. – № 11. – С. 3–7.
11. **Любимова П. С., Казьмина Т. А., Решетникова М. А.** Остракоды мезозойских отложений Западно-Сибирской низменности. – Л.: Гостоптехиздат, 1960. – 427 с. – (Тр. ВНИГРИ; вып. 10).
12. **Нецкая А. И.** О некоторых фораминиферах верхнененонских отложений Западной Сибири // Микрофауна СССР. – Л.; М.: Гостоптехиздат, 1948. – С. 213–226. – (Тр. ВНИГРИ; Нов. сер.; вып. 31).
13. **Подобина В. М.** Зависимость родового состава отряда Атахорфрамиды (фораминиферы) от условий обитания // Вестн. ТГУ. – 2011. – № 350. – С. 204–208.
14. **Подобина В. М.** Нодозарииды позднего мела Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1995. – 203 с.
15. **Подобина В. М.** Сравнительная характеристика фораминифер и корреляция верхнемеловых отложений Западной Сибири и других регионов // Материалы к стратиграфии Западно-Сибирской равнины. – Томск: ТГУ, 1978. – С. 89–108.
16. **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: ТГУ, 1967. – С. 89–99.
17. **Подобина В. М.** Фораминиферовые зоны границы сантона-кампана Западной Сибири // Горные ведомости. – 2016. – № 7 (146). – С. 14–25.
18. **Подобина В. М.** Фораминиферы, биостратиграфия верхнего мела и палеогена Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 2009. – 432 с.
19. **Подобина В. М.** Фораминиферы верхнего мела северо-восточных районов Западной Сибири, их биогеографические связи, значение для стратиграфии и палеогеографии // Материалы по стратиграфии и палеонтологии Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1974. – С. 100–121.
20. **Подобина В. М.** Фораминиферы верхнего мела и палеогена Западно-Сибирской низменности, их значение для стратиграфии. – Томск: ТГУ, 1975. – 163 с.
21. **Подобина В. М.** Фораминиферы датского яруса нижнего палеоцена Западной Сибири, их значение для стратиграфии // Горные ведомости. – 2018. – № 5 (159). – С. 32–43.
22. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия верхнего мела Западной Сибири. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 388 с.
23. **Подобина В. М.** Фораминиферы и зональная стратиграфия верхнего мела Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1989. – 232 с.
24. **Стратиграфическое** положение и особенности формирования железорудных горизонтов на территории Томской области / В. М. Подобина, Г. М. Татьяна, А. В. Кривенцов, Т. Г. Ксенева // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых: матер. геол. конф., посвящ. 75-летию со дня основания кафедры геолого-разведочного дела и специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» / под ред. А. Ф. Коробейникова. – Томск: ТПУ, 2005. – С. 115–120.



25. **Стратиграфия** и фауна меловых отложений Западно-Сибирской низменности / А. Е. Глазунова, В. Т. Балахматова, Р. Х. Липман и др. // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. – 1960. – Т. 29. – С. 3–346.

26. **Стратиграфия** мезозойских и третичных отложений восточного склона Урала и Зауралья / И. А. Аграновская, А. И. Еремеева, Ф. В. Киприянова и др. // Тр. Межвед. совещ. по стратиграфии Сибири. – Л.: Гостоптехиздат, 1957.

27. **Стратиграфия** мезозоя и кайнозоя Западно-Сибирской низменности / З. И. Булатова, З. А. Войцель, Э. Н. Кисельман и др. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 148 с.

28. **Практическое** руководство по микрофауне СССР. Т. 5. Фораминиферы мезозоя / ред. А. Я. Азбель, А. А. Григалис. – Л.: Недра, 1991. – 375 с.

29. **Региональные** стратиграфические схемы мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской равнины. Схема 4 / ред. И. И. Нестеров, И. Г. Климова, С. Б. Шацкий. – Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1981.

30. **Региональные** стратиграфические схемы мезозойских отложений Западно-Сибирской равнины. Схема 6 / ред. И. И. Нестеров. – Тюмень, 1991.

31. **Региональные** стратиграфические схемы триасовых, юрских и меловых отложений Западной Сибири, рассмотренные VI МРСС по мезозойским отложениям Западной Сибири 14–16 октября 2003 г. – Новосибирск: СНИИГиМС, 2005. – 168 с.

32. **Решения** и труды Межведомственного совещания по доработке и уточнению унифицированной и корреляционной стратиграфических схем Западно-Сибирской низменности (Тюмень, 21–27 марта 1967 г.). Ч. II. Решения межведомственного совещания и межведомственного стратиграфического комитета по доработке и уточнению унифицированной и корреляционной стратиграфических схем четвертичных отложений Западно-Сибирской низменности; особые мнения / ред. Н. Н. Ростовцев. – Тюмень, 1970. – 275 с.

33. **Фораминиферы** меловых и палеогеновых отложений Западно-Сибирской низменности / ред. Н. Н. Субботина. – Л., 1964. – 321 с., 66 табл. – (Тр. ВНИГРИ; вып. 234).

34. **Brotzen F.** The Swedish Paleocene and its foraminiferal fauna // *Arsbok Sver. Geol. Undersök. Ser. C.* – 1948. – Vol. 42, no. 493(2). – 140 p.

35. **Podobina V. M.** Paleozoogeographic regionalization of Northern Hemisphere Late cretaceous basin based on foraminifera // *Proc. 4th Int. Workshop on Agglutinated Foraminifera. Spec. Publ.* – 1995. – No. 3. – P. 239–247.

36. **Podobina V. M., Kseneva T. G.** Upper Cretaceous stratigraphy of the West Siberian Plain based on foraminifera // *Cretaceous Research.* – 2005. – Vol. 26. – P. 133–143.

37. **Tappan H.** Foraminifera from the Arctic slope of Alaska. Pt. 3. Cretaceous Foraminifera // *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper.* – 1962. – No. 236G. – P. 91–209.

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

REFERENCES

1. Bezrukov P.L. [Upper Cretaceous and Paleogene deposits of the Tobol headwaters basin]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody, otd. geol.* – *Bull. Soc. Imp. Nat. Mosc.*, 1934, no. 2, vol. 12, pp. 167–199. (In Russ.).

2. Vasilenko V.P. *Foraminifery verkhnego mela p-va Mangyshlaka* [Upper Cretaceous Foraminifera of the Mangyshlak Peninsula]. *Tr. VNIIGRI – Proceeding VNIIGRI*, 1961, no. 171, pp. 2–486. (In Russ.).

3. Dayn L.G. [Some types of foraminifera of the Cretaceous deposits of the Shumikhinsky District of the Chelyabinsk Region]. *Mikrofauna SSSR* [Microfauna of the USSR]. Leningrad, Gostoptechizdat Publ., 1961, pp. 4–42. (In Russ.).

4. Eremeeva A.I., Belousova N.A. [Foraminifera stratigraphy and fauna of Cretaceous and Paleogene deposits of the eastern slope of the Urals, Trans-Urals and Northern Kazakhstan]. *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Urala* [Materials on geology and mineral resources of the Urals]. Moscow, 1961, no. 9, pp. 3–189. (In Russ.).

5. Kalinin N.A. [Foraminifera of the Baktygaryn Cretaceous deposits (Aktyubinskiy Region)]. *Etyudy po mikropaleontologii – Sketches on micropaleontology*, 1937, vol. 1, no. 2. 61 p. (In Russ.).

6. Kiselman E.N. [Microfaunistic zones of the Gankinskaya Formation of the West Siberian Lowland]. *Materialy po paleontologii i stratigrafii Zapadnoy Sibiri* [Materials on paleontology and stratigraphy of West Siberia]. Leningrad, Gostoptechizdat Publ., 1960, pp. 163–175. (In Russ.).

7. Kiselman E.N. [Separation of the Upper Senonian deposits of the West Siberian Lowland by foraminifera (the upper part of the Upper Campanian, Maastricht)]. *Materialy po stratigrafii i paleontologii Sibiri* [Materials on stratigraphy and paleontology of Siberia]. Novosibirsk, 1969, pp. 116–124 (In Russ.).

8. Kseneva T.G. [Foraminifer complexes of Late Campanian of West Siberia]. *Problemy geologii Sibiri: tez. dokl. nauchn. konf., posvyashch. 75-letiyu geol. obraz. v Tomskom universitete* [Problems of geology of Siberia: thesis reports scientific conference, dedicated 75th anniversary of geologocal education at Tomsk University]. Tomsk, State University Publ., 1996, pp. 153–154. (In Russ.).

9. Kseneva T.G. *Foraminifery kampana-maastrikhta Zapadnoy Sibiri, ikh znachenie dlya stratigrafii i paleoekologii: Avtoref. dis. ... kand. geol.-miner. nauk* [Campanian-Maastricht Foraminifera of West Siberia, their importance for stratigraphy and paleoecology: Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, 1999. 25 p. (In Russ.).

10. Leongardt N.I. [The border of the Campanian and Maastricht stages in the south-east of the Russian



Platform]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy, Geologiya i Razvedka*. Moscow, 1971, no. 11, pp. 3–7. (In Russ.).

11. Lyubimova P.S., Kazmina T.A., Reshetnikova M. A. *Ostrakody mezozojskih otlozhenij Zapadno-Sibirskoj nizmennosti* [Ostracods of Mesozoic deposits of the West Siberian Lowland]. Leningrad, Gostoptechizdat Publ., 1960. 427 p. (In Russ.).

12. Netskaya A.I. [On some foraminifera of the Upper Senonian deposits of West Siberia]. *Mikrofauna SSSR – Mikrofauna of the USSR*. Leningrad-Moscow, Gostoptechizdat Publ., 1948, pp. 213–226. (In Russ.).

13. Podobina V.M. [Dependence of the Ataxophragmiida (foraminifera) genus composition on habitat conditions]. *Vestnik TGU – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, no. 350, pp. 204–208. (In Russ.).

14. Podobina V.M. *Nodozariidy pozdnego mela Zapadnoy Sibiri* [Late Cretaceous Nodosariacea of West Siberia]. Tomsk, University Publ., 1995. 203 p. (In Russ.).

15. Podobina V.M. [Comparative characteristics of foraminifera and correlation of Upper Cretaceous deposits of West Siberia and other regions]. *Materialy k stratigrafii Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Proceedings on the stratigraphy of the West Siberian Plain]. Tomsk, University Publ., 1978, pp. 89–108. (In Russ.).

16. Podobina V.M., Tanacheva M.I. [Stratigraphy of gas-bearing Upper Cretaceous deposits of the northeastern regions of the West-Siberian Lowland]. *Novye dannye po geologii i poleznym iskopaemyam Zapadnoy Sibiri* [New data on geology and mineral resources of West Siberia. No. 2]. Tomsk, University Publ., 1967, pp. 89–99. (In Russ.).

17. Podobina V.M. [Foraminifer zones of the Santonian-Campanian boundary in West Siberia]. *Gornye vedomosti*, 2016, no. 7 (146), pp. 14–25. (In Russ.).

18. Podobina V.M. *Foraminifery i biostratigrafiya verkhnego mela Zapadnoy Sibiri* [Foraminifera and biostratigraphy of the Upper Cretaceous of West Siberia]. Tomsk, 2000. 388 p. (In Russ.).

19. Podobina V.M. [Foraminifera of the Upper Cretaceous of the northeastern regions of West Siberia, their biogeographic connections, and importance for stratigraphy and paleogeography]. *Materialy po stratigrafii i paleontologii Zapadnoy Sibiri* [Proceedings on stratigraphy and paleontology of West Siberia]. Tomsk, University Publ., 1974, pp. 100–121. (In Russ.).

20. Podobina V.M. *Foraminifery verkhnego mela i paleogena Zapadno-Sibirskoy nizmennosti, ikh znachenie dlya stratigrafiiri* [Foraminifera of Upper Cretaceous and Palaeogene of the West Siberian Lowland, their importance for stratigraphy]. Tomsk, State University Publ., 1975. 163 p. (In Russ.).

21. Podobina V.M. [Foraminifera of the Danian stage of the Lower Palaeocene of West Siberia, their importance for stratigraphy]. *Gornye vedomosti*, 2018, no. 5 (159), pp. 32–43. (In Russ.).

22. Podobina V.M. *Foraminifery i biostratigrafiya verkhnego mela i paleogena Zapadnoy Sibiri* [Fora-

minifera, biostratigraphy of the Upper Cretaceous and Palaeogene of West Siberia]. Tomsk, University Publ., 2009. 432 p. (In Russ.).

23. Podobina V.M. *Foraminifery i zonal'naya stratigrafiya verkhnego mela Zapadnoy Sibiri* [Foraminifera and zonal stratigraphy of the Upper Cretaceous of West Siberia]. Tomsk, State University Publ., 1989. 232 p. (In Russ.).

24. Podobina V.M., Tatyani G. M., Kriventsov A V., Kseneva T.G. [Stratigraphic position and features of the formation of iron ore horizons in the Tomsk Region]. *Materialy geol. konf. "Problemy geologii i razvedki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh", posvyashch. 75-letiyu so dnya osnovaniya kafedry geologorazvedochnogo dela i spetsial'nosti "Geologiya i razvedka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh"* [Proceedings of the geological conference "Problems of geology and exploration of mineral deposits" dedicated 75th anniversary of the founding of the department of exploration and specialty "Geology and exploration of mineral deposits"]. Tomsk, State University Publ., 2005, pp. 115–120. (In Russ.).

25. Glazunova A.E., Balakhmatova V.T., Lipman R.Kh., et al. [Stratigraphy and fauna of the Cretaceous deposits of the West Siberian Lowland]. *Tr. VSEGEI. Nov. ser. – Proceeing VSEGEI. New serie*, 1960, vol. 29, pp. 3–346. (In Russ.).

26. Agranovskaya I.A., Eremeeva A.I., Kipriyanova F.V., et al. [Stratigraphy of Mesozoic and Tertiary deposits on the eastern slope of the Urals and Trans-Urals] *Tr. Mezhdved. soveshch. po stratigrafii Sibiri* [Proceeding Interdepartmental meeting in stratigraphy of Siberia]. Leningrad, Gostoptechizdat Publ., 1957. (In Russ.).

27. Bulatova Z.I., Voytsel Z.A., Kiselman E.N., et al. *Stratigrafiya mezozoya i kaynozoya Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Mesozoic and Cenozoic Stratigraphy of the West Siberian Plain]. Moscow, Gostoptechizdat Publ., 1957. 148 p. (In Russ.).

28. *Prakticheskoe rukovodstvo po mikrofaune SSSR. T. 5. Foraminifery mezozoya* [Practical guide to the microfauna of the USSR. Vol. 5. Mesozoic Foraminifera]. Leningrad, Nedra Publ., 1991. 375 p. (In Russ.).

29. *Regional'nye stratigraficheskie skhemy mezozoyskikh i kaynozoykskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Regional stratigraphic charts of Mesozoic and Cenozoic deposits of the West Siberian Plain]. Tyumen, ZapsibNIGNI Publ., 1981. Chart 4. (In Russ.).

30. *Regional'nye stratigraficheskie skhemy mezozoyskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Regional stratigraphic charts of the Mesozoic and Cenozoic deposits of the West Siberian Plain] Tyumen, 1991. Chart 6. (In Russ.).

31. *Regional'nyye stratigraficheskiye skhemy triasovykh, yurskikh i melovykh otlozheniy Zapadnoy Sibiri, rassmotrennyye VI MRSS po mezozoyskim otlozheniyam Zapadnoy Sibiri*. [Regional stratigraphic charts of the Triassic, Jurassic and Cretaceous deposits of West Siberia]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2005. 168 p. (In Russ.).



32. *Resheniya i trudy Mezhdovedstvennogo soveshchaniya po dorabotke i utochneniyu unifits. i korrel. stratigrafich. skhem Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Decisions and proceedings of the interdepartmental meeting on the update and refinement of unified and correlation stratigraphic charts of West Siberian Lowland]. Tyumen, 1970. 275 p. (In Russ.).

33. Subbotina N.N., ed. *Foraminifery melovykh i paleogenovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Foraminifera of Cretaceous and Palaeogene Deposits of the West Siberian Lowland]. Leninrgad, 1964. 321 p. (In Russ.).

34. Brotzen F. The Swedish Paleocene and its foraminiferal fauna. *Arsbok Sver. Geol. Undersök. Ser. C.* 1948, vol. 42, no. 493(2). 140 p.

35. Podobina V.M. Paleozoogeographic regionalization of Northern Hemisphere Late cretaceous basin based on foraminifera. *Proc. 4th Int. Workshop on Agglutinated Foraminifera. Spec. Publ.* 1995, no. 3, pp. 239–247.

36. Podobina V.M., Kseneva T.G. Upper Cretaceous stratigraphy of the West Siberian Plain based on foraminifera. *Cretaceous Research*, 2005, vol. 26, pp. 133–143.

37. Tappan H. Foraminifera from the Arctic slope of Alaska. Pt. 3. Cretaceous Foraminifera. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 1962, no. 236G, pp. 91–209.

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

© В. М. Подобина, Т. Г. Кseneва, 2019



ФЛОРА НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ П-ОВА ЯМАЛ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

А. И. Муравьев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Приведено описание новых находок ископаемых растений из керна скважин северной части п-ова Ямал. Среди остатков встречаются как юрские, так и раннемеловые (преобладают) таксоны. Основу изученного комплекса составляют папоротники родов *Coniopteris* Brongniart и *Scleropteris* Saporta, а также хвойные *Pityophyllum* Nathorst, *Cephalotaxopsis* Fontaine и беннетитовые *Pterophyllum* Brongniart. Некоторые таксоны впервые найдены на изучаемой территории, что свидетельствует о слабой изученности северных районов Западной Сибири. При описании растений применены морфологический и эпидермально-кутикулярный методы. В результате выявлено сходство некоторых видов с растениями из нижнемеловых отложений восточных регионов (бассейны рек Лена и Колыма, Дальний Восток, Забайкалье).

Ключевые слова: меловые отложения, Полуйско-Ямало-Гыданский структурно-фациальный район, растительные остатки, свита, флора.

FLORA OF THE LOWER CRETACEOUS DEPOSITS OF THE YAMAL PENINSULA (WEST SIBERIA)

A. I. Muravyev

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The article describes the new findings of fossil plants from the core of wells in the northern Yamal Peninsula. Among the remains there are both Jurassic and Early Cretaceous taxa, with the predominance of the latter. The basis of the studied complex consists of ferns of the *Coniopteris* Brongniart and *Scleropteris* Saporta genera, as well as coniferous *Pityophyllum* Nathorst, *Cephalotaxopsis* Fontaine and bennetite *Pterophyllum* Brongniart. Some taxa are first found in the area under study, which indicates that the northern regions of West Siberia are scantily known. Morphological and epidermal cuticular methods are used in describing the plants. A similarity of some species to plants from the Lower Cretaceous deposits of the eastern regions (the Lena and Kolyma basins, the Far East, Transbaikal) is revealed.

Keywords: Cretaceous deposits, Poluy-Yamal-Gydan structure-facies zone, vegetable remains, Formation, flora.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-25-37

Корреляция континентальных отложений была и остается одной из основных и наиболее сложных задач стратиграфии. Особенно она актуальна для нефтегазоносных районов севера Западной Сибири. Если для морских отложений активно разрабатываются зональные шкалы по микро- и макрофауне, то для континентальных образований эти возможности ограничены изучением пресноводных организмов (остракоды, филлоподы) и растений. Роль последних в этом случае трудно переоценить.

Основной материал по меловой макрофлоре, изученный предшественниками, приурочен к территориям юго-востока Западной Сибири, южной части Восточной Сибири и Дальнего Востока [1, 3, 8–10, 14–16].

Северная часть Западной Сибири, и в частности Полуйско-Ямало-Гыданский структурно-фациальный район (СФР), в настоящее время мало изучены палеоботанически, и любой новый материал крайне важен и необходим как для детализации стратиграфических схем, так и для дальнейших палеогеографических реконструкций.

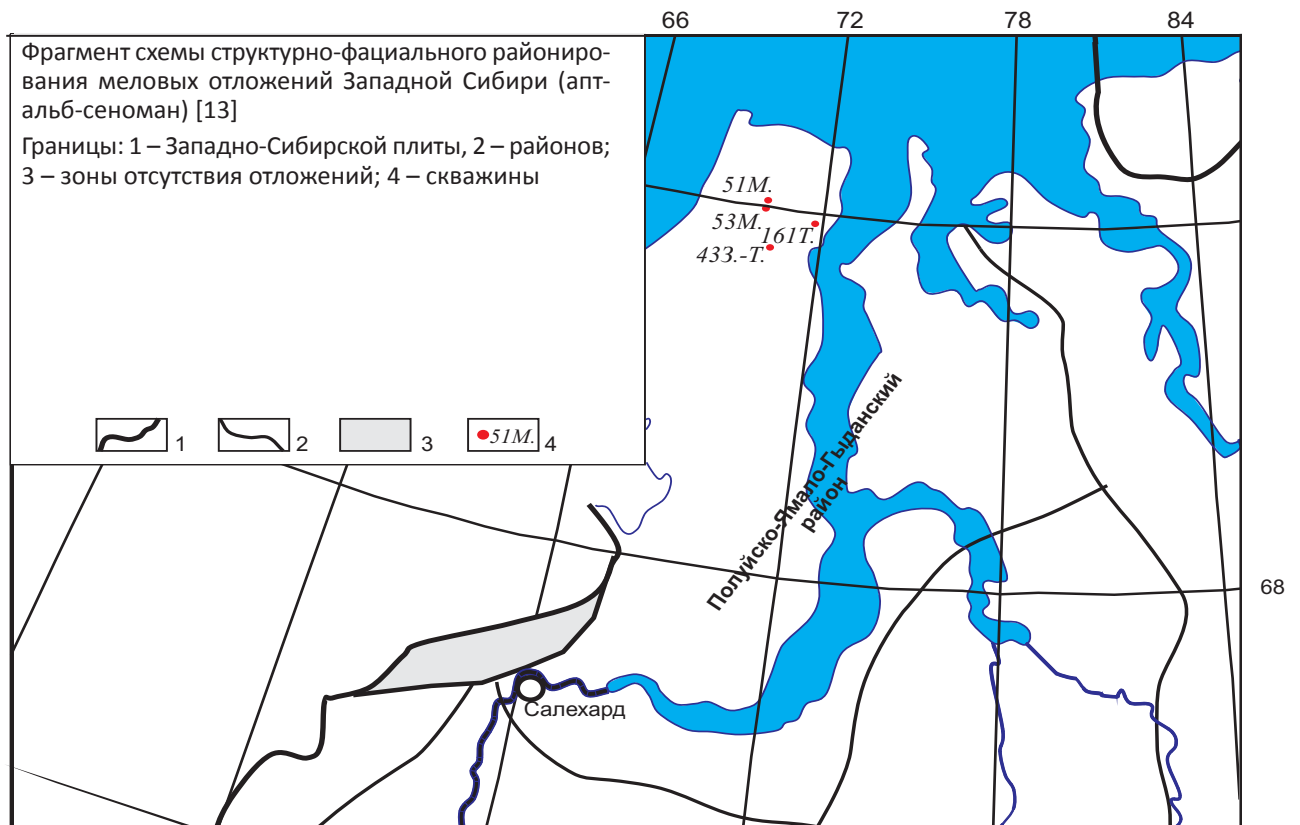
На основании данных палинологического анализа изучаемого интервала, проведенного О. Н. Костешей (лаборатория микропалеонтологии ТГУ), установлено, что вмещающие отложения да-

тируются поздним аптом. Согласно принятой региональной стратиграфической схеме [13], их следует относить к танопчинской свите (викуловский региональный горизонт), поскольку она содержит флористический комплекс с растительными остатками, собранными на площадях, в южной части фациальной области.

Материал, поступивший в лабораторию микропалеонтологии ТГУ для комплексных литолого-фациальных и палеонтологических исследований, происходит из керна четырех скважин, расположенных на севере п-ова Ямал (Ямало-Ненецкий АО): Тасийская 161, Малыгинская 51 и 53, Западно-Тамбейская 43 (Полуйско-Ямало-Гыданский ФР, п-ов Ямал) [13] (см. рисунок).

В целом сохранность материала удовлетворительная, но в ряде случаев определение видовой принадлежности остатков осложнено их фрагментарностью. Автором за основу взята систематика ископаемых растений, разработанная С. В. Мейном [11].

В работе был применен сравнительно-морфологический метод изучения растительных остатков, а также эпидермально-кутикулярный анализ фитолем, основанный на методике, описанной в монографии [7].



Весь обработанный палеоботанический материал хранится в Палеонтологическом музее им. В. А. Хахлова ТГУ в коллекции № 116.

За предоставленный материал и поддержку автор признателен заведующему лабораторией микропалеонтологии ТГУ Г. М. Татьянину. За ценные советы автор выражает благодарность Л. И. Быстрицкой, О. Н. Костеше и Л. Г. Пороховниченко.

Класс Hepaticopsida (Marchantiopsida)

Род *Marchantites* Brongniart, 1849

Marchantites sp.

Табл. I, фиг. 1

Материал. Обр. № 116/1336, Тасийская скв. 161.

Описание. Отпечатки небольшого фрагмента дихотомически ветвящегося слоевища шириной 1,5–2 мм, расширяющегося в местах ветвления. Обрывок предположительно относится к верхушечной части, о чем свидетельствует частое ветвление с интервалом 3 мм. Угол ветвления 40–50°. Середина слегка выпуклая в связи с утолщением этой части. Клеточная структура растения плохо выражена из-за низкой степени сохранности.

Сравнение. Из-за плохой сохранности остатков и фрагментарности материала отнесение к определенному виду затруднительно. По морфологическим признакам они имеют наибольшее сходство с *Marchantites jimboi* (Kryshstofovich) Kryshstofovich из меловых отложений о. Сахалин [8]. Несколько фрагментов слоевища описаны Л. И. Быстрицкой из меловых отложений Западной Сибири [1].

Местонахождение. Нижнемеловые (аптские) отложения Западной Сибири, Чворовая скв. 1, гл. 1769–1776,2 м; Тасийская скв. 161, гл. 2368,5 м.

Род *Equisetites* Sternberg, 1833

Equisetites sp.

Табл. I, фиг. 2

Материал. Обр. № 116/1330, Тасийская скв. 161.

Описание. В образце имеется несколько отпечатков корневищ, отнесенных автором к хвощовым. На длинном корневище в узлах мутовчато расположены клубеньки на коротких черешках. Из некоторых узлов отходят как короткие черешки, несущие клубень, так и длинные. Вдоль всего стебля проходит продольная морщинистость, которая связана с усыханием растения после отмирания. Возможно, из одного узла могли произрастать 2–3 отростка, несущих клубни, о чем свидетельствуют следы прикрепления на стержне. Клубеньки имеют сплюснутую форму, вытянутую в длину, ребристую поверхность, что также обусловлено усыханием. Длина междоузлий 30 мм, толщина корневища 6 мм. Верхушки клубней заострены, наибольшая их ширина приходится на середину. Их размеры различны: от 8 до 18 мм в длину и от 7 до 12 мм в ширину.

Сравнение. Близкие по морфологии остатки отмечены в угленосных отложениях нижнего мела левобережья р. Зырянка (буор-кемюсская свита, бассейн р. Колыма) [14].

Местонахождение. Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири, п-ов Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 1970,85 м, танопчинская свита.

Класс Polypodiopsida
 Порядок Dicksoniales
 Семейство Dicksoniaceae
 Род *Coniopteris* Brongniart, 1849
Coniopteris cf. *setacea* (Pryn.) Vachrameev
 Табл. I, фиг. 4, 5

Материал. Обр. № 116/1333, скопление обрывков ваий папоротника. Тасийская скв. 161.

Описание. Отпечатки перьев папоротника с мелкими перышками в виде перисто-надрезанных иголочек. Стержень достигает толщины 1 мм, в местах дихотомии расширяется. Вдоль него проходит толстая жилка толщиной, равной половине рахиса, в виде валика на отпечатке. При дихотомии главная жилка раздваивается и в каждое перышко отходит по одной жилке. От стержня отходят многочисленные ветвящиеся перья, местами рассеченные на 3–5 долек длиной до 1 мм. Перья очень узкие, в ширину 5–7 мм. Перышки прижаты к стержню, отходят под острым углом ($\approx 45^\circ$), ближе к верхушке угол уменьшается. Они имеют ланцетовидную форму, слегка сужаются к основанию, наиболее широкая часть приходится на верхнюю часть, верхушка приостренная. В разных частях ваии отмечается различная морфология перьев.

Сравнение. В работах В. А. Самылиной [14, 16] описаны отпечатки неполных стерильных листьев из местонахождений левобережья р. Колыма (Зырянский угленосный бассейн, ожогинская свита левобережья р. Силяпа) и Ленского бассейна, с которыми наблюдается наибольшее сходство.

Местонахождение. Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири, п-ов Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 2187 м, танопчинская свита.

Coniopteris sp. A
 Табл. I, фиг. 6, 7

Материал. Обр. № 116/1336, Тасийская скв. 161; 116/1338, Малыгинская скв. 53.

Описание. Отпечатки частей ваии папоротника плохой сохранности. На одном из отпечатков сохранилось перо в виде тонкого длинного стержня шириной 1 мм и длиной 75 мм с неправильно ромбовидными, попарно сближенными базальными перышками. Перышки на рахисе расположены относительно редко, 4–5 мм друг от друга, имеют почти одинаковые соотношения длины и ширины, а также обладают отчетливым жилкованием несовершенно перистого характера. Средняя жилка при входе в перышко многократно дихотомизирует. Края перышек изрезанные, к рахису прикрепляются только средней узкой частью основания, равной или несколько большей, чем толщина средней жилки.

На другом отпечатке сохранилась верхняя часть ваии папоротника в виде стержня и единственного от-

ходящего от него под углом 70° пера, а также остатки базальных перышек. Стержень тонкий, ребристый, постепенно сужающийся вверх. Перья сидят на стержне на расстоянии около 7 мм. Перья треугольной формы, 9 мм в длину и 5 мм в ширину. Перышки неправильной ромбовидной формы, края изрезаны, верхний край надрезан на три лопасти. Жилкование перистое.

Сравнение. Данные отпечатки имеют плохую сохранность. На первом плохо сохранились перышки, трудно разглядеть их истинную форму. Она отдаленно напоминает почковидную, что делает ее похожей на *Coniopteris brevifolia* (Font.) Bell., описанный В. А. Самылиной из нижнемеловых отложений в районе пос. Омсукчан (Магаданская область) [16]. Отличие заключается в толщине основной жилки и многократной дихотомии боковых жилок в изученном образце. Также отличительная черта – место прикрепления перышек к стержню, а именно: зауженная часть, по ширине немного превышающая основную жилку. На втором отпечатке сохранилось перо и базальные перышки других перьев. Видно, что их передний край надрезан на три лопасти. Морфологически наибольшим сходством обладают образцы, описанные В. А. Самылиной как *Coniopteris* sp. из буор-кемюсской свиты (нижний мел) Зырянского угленосного бассейна [14]. Перышки также имеют перистое жилкование. По морфологическим признакам находки можно отнести к роду *Coniopteris*, однако в связи с плохой сохранностью остатков установить их вид не удалось.

Местонахождение. Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири, п-ов Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 2368,5 м; Малыгинская скв. 53, гл. 2412,8 м, танопчинская свита.

Coniopteris sp. B
 Табл. I, фиг. 8

Материал. Обр. № 116/1336, Тасийская скв. 161.

Описание. Единичное спороносное перо, несущее две пары фертильных перышек. Длина пера 8 мм, ширина 5 мм. Перышки узкоромбические, трижды рассеченные, с волнистым краем. Жилкование сфеноптеридное, от главной жилки в каждую лопасть отходят боковые один раз дихотомизирующие жилки.

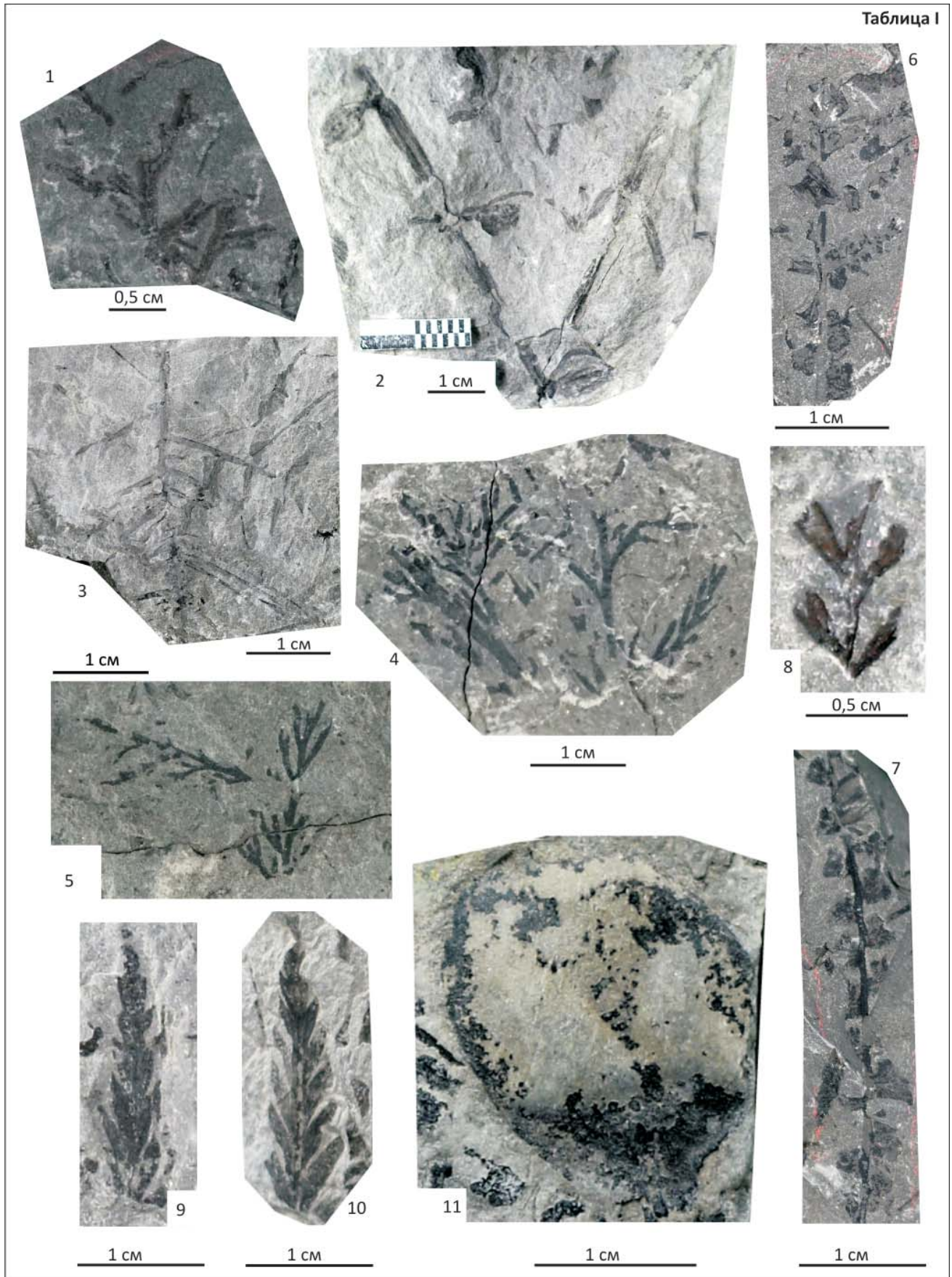
Сравнение. По морфологии перышек отпечаток имеет наибольшее сходство с *Coniopteris burejensis* (Zalessky) Seward [17], однако из-за плохой сохранности невозможно точно установить его видовую принадлежность.

Местонахождение. Юрские и нижнемеловые отложения Сибири, Тасийская скв. 161, гл. 2368,5 м, танопчинская свита.

Род *Scleropteris* Saporta, 1873
Scleropteris cf. *dahurica* Prynada
 Табл. I, фиг. 9, 10

Материал. Образцы керна № 116/1329, Тасийская скв. 161, № 116/1338, Малыгинская скв. 53.

Таблица I



Описание. Обрывки различных частей вай, преимущественно верхушек перьев, папоротника. Ланцетовидные перья длиной 15–18 мм и шириной 5–7 мм. Перышки ромбовидно-удлиненные,

расположены тесно друг к другу, имеют заостренную верхушку, избегающий нижний край и сросшиеся основания, которые образуют кайму стержня. Длина перышек 5–7 мм, ширина 2,5–3 мм, кверху их

Фиг. 1. Участок слоевища *Marchantites* sp. П-ов Ямал, обр. № 116/1336, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2368,5 м; нижний мел.

Фиг. 2. Корневища *Equisetites* sp. с клубеньками. П-ов Ямал, обр. № 116/1330, Тасийская пл., скв. 161, гл. 1970,85 м; нижний мел.

Фиг. 3. Отпечатки корней *Radicites* sp. П-ов Ямал, обр. № 116/1332, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2178,4 м; нижний мел.

Фиг. 4, 5. Отпечатки перьев *Coniopteris* cf. *setacea*. П-ов Ямал, обр. № 116/1333, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2178 м; нижний мел.

Фиг. 6, 7. Части вайи папоротника *Coniopteris* sp.: 6 – в отпечатке сохранился рахис и несколько перьев; 7 – отпечаток содержит рахис и базальные перышки. П-ов Ямал, обр. № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 8. Обрывок спороносного пера *Coniopteris* sp. Б. П-ов Ямал, обр. 116/1336, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2368,5 м; нижний мел.

Фиг. 9, 10. Стерильные перья *Scleropteris* cf. *dahurica*. П-ов Ямал, обр. № 116/1329, Тасийская пл., скв. 161, гл. 1918,9 м; обр. № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 11. Отпечаток листа *Ginkgodium* sp. П-ов Ямал, обр. № 116/1336, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2368,5 м; нижний мел.

размеры уменьшаются. Перышки отходят от стержня косо вверх под углом 35–40°. Края перышек ровные, жилкование сфеноптеридное. На стержне отчетливо видна толстая жилка в виде валика.

В обр. № 116/1338 обнаружена часть пера узколинейной формы плохой сохранности, ближе к верхушке, судя по размерам и форме перышек. Перышки отходят от стержня под острыми углами вверх, имеют узкоромбическую форму, располагаются тесно друг к другу, цельнокрайние, обладают сфеноптеридным жилкованием, средняя жилка более крупная, боковые более тонкие, дихотомизируют несколько раз. Нижние края перышек слегка избегают по стержню, верхушки приостренные. Длина пера 25 мм; длина перышек 3–4 мм, ширина 1,5–2 мм.

С р а в н е н и е . Плохая сохранность перышек не позволяет с точностью установить их видовую принадлежность. По морфологическим признакам изучаемые отпечатки папоротников схожи с экземплярами *Scleropteris dahurica* Prynada, описанными В. Д. Принадой из нижнемеловых отложений Западного Забайкалья [12]. Подобные находки были описаны А. И. Киричковой из нижнемеловых отложений Ленского бассейна [3] и Л. И. Быстрицкой из нижнемеловых отложений Западной Сибири [1].

М е с т о н а х о ж д е н и е . Нижнемеловые отложения Западной Сибири, Чебачья скв. 219, гл. 1376,9–1378,45 м, покурская серия (свита); п-ов Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 1918,9 м, Малыгинская скв. 53, гл. 2412,8 м, таноппинская свита.

Класс Ginkgoopsida
Порядок Ginkgoales
Род *Ginkgodium* Yokoyama, 1889
Ginkgodium sp.
Табл. I, фиг. 11

М а т е р и а л . Обр. № 116/1336, Тасийская скв. 161.

О п и с а н и е . Лист овальной формы, слегка выпуклый, сохранился в виде отпечатка и противоположного отпечатка. Длина 27 мм, ширина 14 мм. У основания

сохранился небольшой фрагмент черешка. Верхушка листа имеет небольшую выемку. Посередине листовой пластинки от основания к верхушке проходит жилка, которая условно делит лист на две неравные части. Параллельно ей проходит множество плохо различимых тонких жилок, идущих параллельно друг другу.

С р а в н е н и е . В коллекции имеется единственный отпечаток и противоположный отпечаток. По морфологии он имеет наибольшее сходство с *Ginkgodium* sp., описанным В. А. Самылиной из ожогиинской свиты (левобережье р. Колыма) [16]. В обоих образцах жилки проходят параллельно друг другу. Один из видов *Ginkgodium* описан Ю. В. Тесленко из Кузнецкого бассейна [17, 18]. Однако там листья имеют более вытянутую форму и явно разделены на две почти равные доли.

М е с т о н а х о ж д е н и е . Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири, п-ов Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 2368,5 м, таноппинская свита.

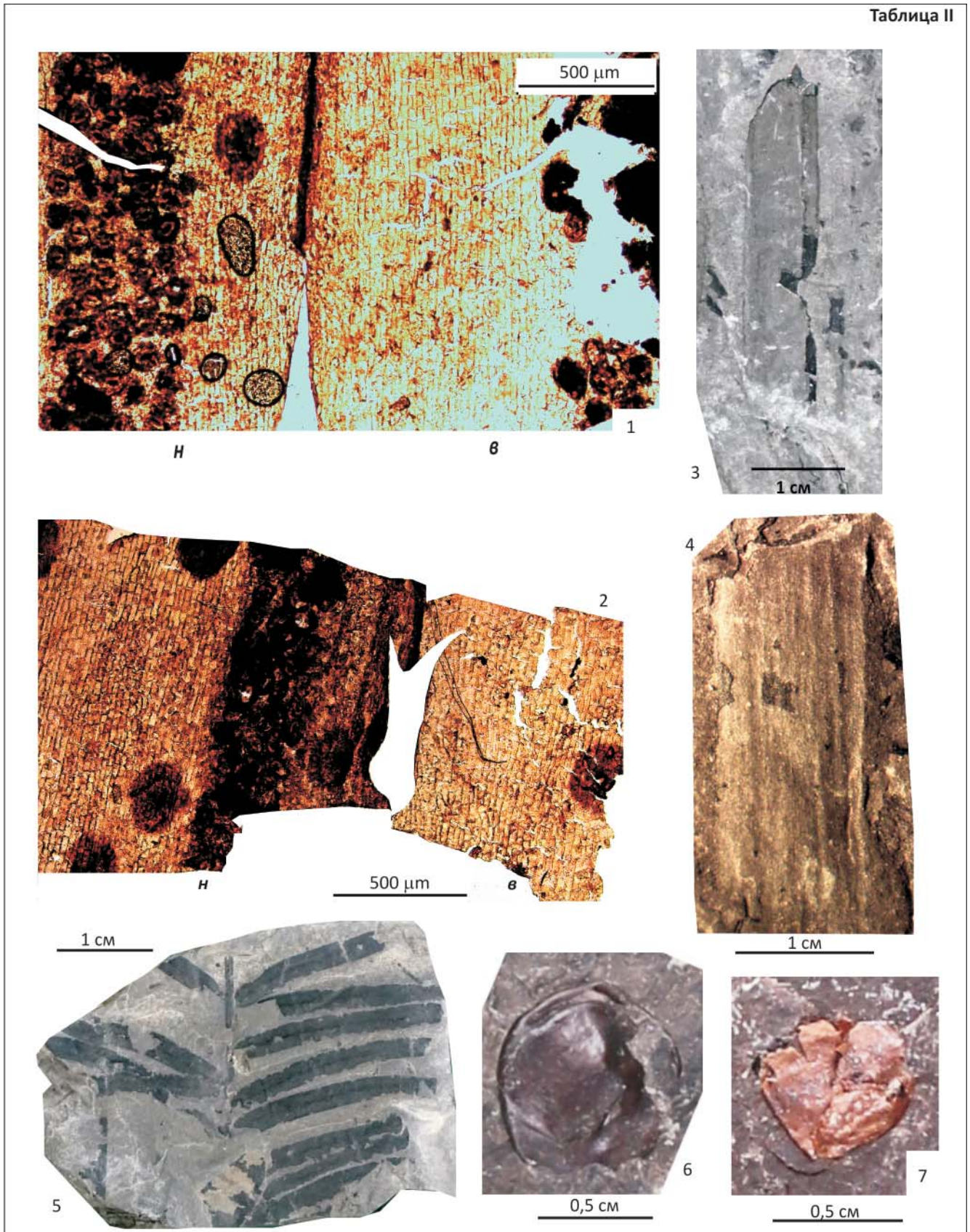
Порядок Leptostrobales
Род *Phoenicopsis* Heer, 1876
Phoenicopsis annaea Samylin, 2002
Табл. II, фиг. 1–4

Phoenicopsis annaea Samyl.: А. И. Киричкова и др., 2002, с. 52, табл. II, фиг. 3, 4; табл. XXVIII, фиг. 1–5 [7]

М а т е р и а л . Обр. № 116/1336, Тасийская скв. 161, одиночные отпечатки листьев с фитолеммой.

О п и с а н и е . Единичные листья линейной формы шириной до 2,5 мм и длиной, превышающей размеры образца (>4,5 см). Лист с параллельным жилкованием. По результатам эпидермально-кутикулярного анализа установлено, что листья амфистоматные, топография верхней и нижней поверхностей различна. Большинство клеток на нижней поверхности снабжено бородавками. Верхняя и нижняя поверхность листа разделены на устьичные и безустьичные полосы. Устьица в полосах расположены неравномерно, но густо. Часто встречаются смежные устьица с общими полярными клетками. Они продольно ориентированы, имеют

Таблица II



в очертании овальную или близкую к округлой форму. Основные клетки в устьичных полосах короткие или почти изодиаметрические. По степени кутинизации основные клетки визуально отличаются от побочных клеток в устьичных аппаратах: они более темные и снабжены трихомными образованиями

в виде небольших папилл или бородавочек. Основные клетки, расположенные вне устьичных полос, имеют удлиненную форму, ровные стенки и приостренные углы между ними. Устьичные щели открыты и оконтурены четкими кутикулярными кольцами, что может свидетельствовать о предотвра-

Фиг. 1–4. *Phoenicopsis annaea* Samylin: 1, 2 – разворот кутикулярной пленки листовой пластинки *Ph. annaea* (поверхность: **н** – нижняя, **в** – верхняя); 3, 4 – обрывки единичных листовых пластинок *Ph. annaea*. П-ов Ямал, обр. № 116/1336, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2368,5 м; нижний мел.

Фиг. 5. Часть листа *Cephalotaxopsis cf. sangarensis*. П-ов Ямал, обр. № 116/1334, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2214 м, гл. 2214 м; нижний мел.

Фиг. 6, 7. Семена *Cephalotaxus cf. ussuriensis*. Обр. № 116/1337, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2447,65 м; нижний мел.

Фиг. 1–4. *Pterophyllum lavrovii*, Kiritchkova: 1, 2 – разворот кутикулярной пленки листовой пластинки *P. lavrovii* (поверхность: **н** – нижняя, **в** – верхняя); 3, 4 – отпечатки сегментированных листьев *P. lavrovii*. Обр. № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 5. Отпечаток листовой пластинки *Podozamites reinii* Geyley. Обр. № 116/1338, № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 6, 7. Отпечатки листьев *Podozamites eichwaldii* Schimper: 6 – увеличенное изображение основания листа с дихотомизирующими жилками; 7 – единичные остатки в виде фитолейм. П-ов Ямал, обр. № 116/1334, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2214 м; обр. № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

щении высокой испаряемости воды с поверхности листьев и активности солнечной энергии.

Сравнение. На основании проведенного эпидермально-кутикулярного анализа было установлено, что изучаемые остатки принадлежат *Ph. annaea* Samyl., подобно образцам, описанным А. И. Киричковой [7]. Их сходство заключается в амфистоматности листьев, расположении устьиц и наличии трихомных образований. Однако есть и различия, которые, вероятно, могут варьировать внутри вида: степень кутинизации побочных клеток (в изучаемых фитолеймах с Ямала побочные клетки кутинизированы сильнее), а также несколько больший интервал между устьичными полосами.

Местонахождение. Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири, п-ов Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 2368,5 м, танопчинская свита.

Класс Cycadopsida
Порядок Bennettitales
Род *Pterophyllum* Brogniart, 1928
Pterophyllum lavrovii Kiritchkova, 1985
Табл. III, фиг. 1–4

Pterophyllum lavrovii, А. И. Киричкова, 1985, с. 97, табл. XL, фиг. 1–7 [3]

Материал. Обр. № 116/1338, Малыгинская скв. 53.

Описание. Сегментированные листья различных размеров, формы и сохранности, что соответствует, вероятно, разным стадиям роста растения. В основном это фрагменты привержушечной части и отдельные сегменты. Среди них наилучшей сохранностью обладает лист, приведенный в табл. III, фиг. 3. Исходя из имеющегося материала, можно сделать вывод о том, что лист имел удлиненно-овальную форму, а отдельные листья достигали в ширину 3 см. Узкие и длинные сегменты расположены на стержне тесно друг к другу, попарно сближены, прикрепляются к нему слегка расширенным основанием и отходят от него под углом 75–80°, в сторону верхушки листа угол слегка увеличивается. Сегменты имеют параллельно-крайнюю, линейную форму, ровные края, закругленную верхушку, достигают 20 мм в длину и 3 мм в ширину. Ширина

рахиса до 3 мм. Жилкование сегментов проявлено слабо, что связано с плохой рельефностью жилок, однако на некоторых сегментах удается их различить. Жилки проходят параллельно друг другу, на ширину сегмента листа приходится 3–4 жилки. На самом рахисе также иногда удается распознать 2–3 нечеткие жилки в виде ребристости. По результатам эпидермально-кутикулярного анализа выяснено, что листья гипостоматные, верхняя эпидерма сложена короткими формами прямых и многоугольных клеток, которые явно выстроены рядами. Стенки клеток извилистые, ближе к краю прямые. Иногда присутствуют мелкие бородавочки. На нижней эпидерме устьица расположены беспорядочно по всей поверхности, не образуя рядов или полос. Также имеются смежные устьичные комплексы, включающие по два устьица. Основные клетки нижней эпидермы коротко-многоугольные, с омеговидно-извилистыми стенками. Побочные клетки сильно не кутинизированы, серповидно-изогнутые, замыкающие клетки кутинизированы.

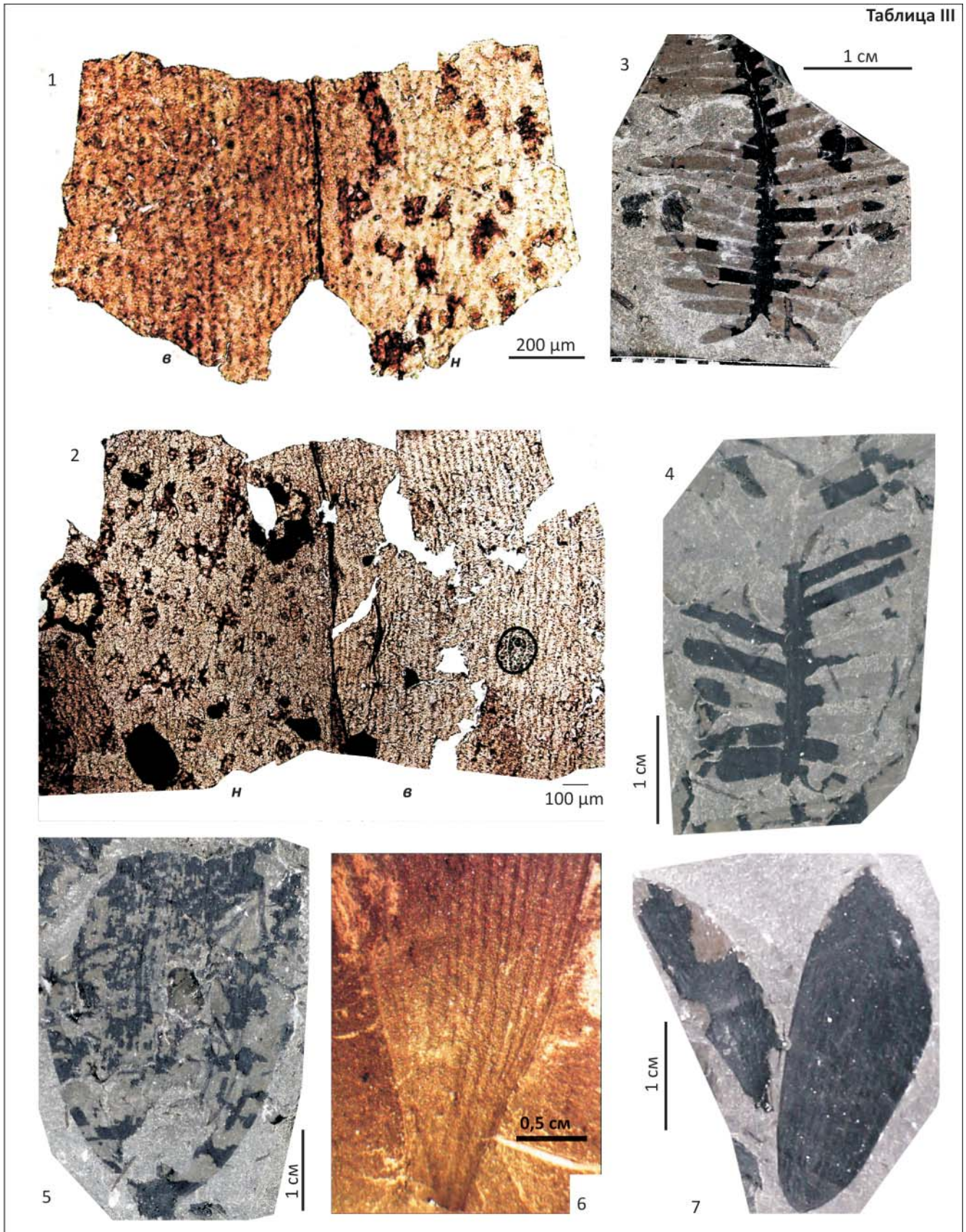
Сравнение. Листья по морфологии и топографии эпидермы более всего напоминают вид *Pterophyllum lavrovii* Kiritchk., впервые описанный А. И. Киричковой из нижней подсвиты батыльхской свиты Южного Приверхоянья [3]. От *Pterophyllum teslenkoi* Batjaeva [5, 6], известного в Западной Сибири, изученные листья отличаются рядом морфологических признаков, среди которых наиболее явные – меньшее расстояние между соседними сегментами, угол между стержнем и сегментами листа и система жилкования.

Местонахождение. Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири, п-ов Ямал, Малыгинская скв. 53, гл. 2412,8 м, танопчинская свита.

Класс Pinopsida (Coniferopsida)
Порядок (Pinales) Coniferales
Род *Pityophyllum* Nathorst, 1897
Pityophyllum cf. nordenskioldii (Heer) Nathorst, 1876
Табл. IV, фиг. 1–5

Материал. Обр. № 116/1335, Тасийская скв. 161; № 116/1338, Малыгинская скв. 53, танопчинская свита.

Таблица III



Описание. Массовое скопление листьев хорошей сохранности в виде фитолейм. В образце видна ориентировка фитофоссилий, что указывает на их захоронение в водной среде со слабым течением. Листья узкие, параллельно-крайние, постепенно сужаются к приостренной верхушке. Их

ширина от 2 до 5 мм, длину определить не удалось в связи с фрагментарностью материала. В центре листа проходит отчетливая жилка. Среди эпидермальных признаков характерна изодиаметричная форма устьичных аппаратов и извилистая форма основных клеток на нижней поверхности. Листья гипо-

Фиг. 1–4. *Pterophyllum lavrovii* Kiritchkova: 1, 2 – разворот кутикулярной пленки листовой пластинки *P. lavrovii* (поверхность: *н* – нижняя, *в* – верхняя); 3, 4 – отпечатки сегментированных листьев *P. lavrovii*. Обр. № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 5. Отпечаток листовой пластинки *Podozamites reinii* Geyley. Обр. № 116/1338, № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 6, 7. Отпечатки листьев *Podozamites eichwaldii* Schimper: 6 – увеличенное изображение основания листа с дихотомирующими жилками; 7 – единичные остатки в виде фитолейм. П-ов Ямал, обр. № 116/1334, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2214 м; обр. № 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

стоматные, топография верхней и нижней эпидермы различны. Нижняя эпидерма состоит из коротких прямоугольных или изодиаметричных клеток с извилистыми стенками. По степени кутинизации основные клетки отличаются от побочных. Верхняя эпидерма сложена тонкими удлинёнными формами с изогнутыми краями клетками либо короткими формами широких клеток с извилистыми краями. Основные клетки часто снабжены бородавочкой.

С р а в н е н и е . По форме листовой пластинки описываемые остатки можно по ошибке отнести к роду *Phoenicopsis*, однако главное отличие в том, что все представители *Pityophyllum* обладают только одной срединной жилкой и иногда продольной морщинистостью. Также по результатам эпидермально-кутикулярного анализа устьичные аппараты и основные клетки эпидермы имеют нехарактерную для рода *Phoenicopsis* форму. Изученные растения имеют сходство с таковыми, описанными из юрских отложений Иркутского бассейна [12].

М е с т о н а х о ж д е н и е . Нижнемеловые отложения севера Западной Сибири (танопчинская свита), Тасийская скв. 161, гл. 2333,65 м, Малыгинская скв. 53, гл. 2412,8 м.

Род *Podozamites* (Brongniart) Braun, 1843

Podozamites reinii Geyley, 1877

Табл. III, фиг. 5

Podozamites reinii Geyley: А. И. Киричкова, Ю. В. Тесленко, 1962, с. 227, табл. 38, фиг. 2, рис. 55 [5]; *Podozamites reinii* Geyley: В. А. Самылина, 1967, с. 152, табл. VIII, фиг. 9а [15]

М а т е р и а л . Обр. № 116/1338, Малыгинская скв. 53.

О п и с а н и е . Отпечатки удлинённо-овальных (эллипсоидных) листьев *Podozamites* (Brongniart) Braun. Наибольшая ширина приходится на середину листа. Верхушка широкозакругленная. Размеры листьев 15–25 мм в ширину, до 40 мм в длину. Жилки сравнительно сближенные, на 10 мм листовой пластинки приходится 17 жилок. Жилкование обычное для листьев данного вида: жилки тонкие, расположены густо, параллельно краям листа, активно дихотомируют в приосновной части, а у верхушки сближаются по направлению к середине, не соединяясь. На некоторых листьях сохранились черешки шириной от 4 до 6 мм.

С р а в н е н и е и з а м е ч а н и я . На отпечатках видны ветвящиеся изгибы трещин, проходящие поперек листа, образовавшиеся в постседиментационный период. Подобные текстуры в седиментоло-

гии свидетельствуют о высыхании водного бассейна и перерыве в осадконакоплении.

По морфологическим признакам описанные листья имеют наибольшее сходство с *Podozamites reinii*. Наиболее явной отличительной чертой этого вида от наиболее близкого к нему *P. latifolius* Heer является эллиптические очертания листьев [15].

М е с т о н а х о ж д е н и е . Нижнемеловые отложения Западной Сибири (п-ов Ямал), Малыгинская скв. 53, гл. 2412,8 м, танопчинская свита.

Podozamites eichwaldii Schimper

Табл. III, фиг. 6, 7; табл. IV, фиг. 6, 7

Podozamites eichwaldii var. *minor*: В. Д. Принада, 1962, с. 214, рис. 56 [12]; *Podozamites eichwaldii* Schimper: А. И. Киричкова, Ю. В. Тесленко, 1962, с. 228, табл. XXXVIII, фиг. 1, 9а; рис. 56 [5]; *Podozamites eichwaldii* Schimper: В. А. Самылина, 1967, с. 151, фиг. 9б; табл. XII, фиг. 11–13 [12]

М а т е р и а л . Обр. № 116/1334, Тасийская скв. 161.

О п и с а н и е . В коллекции насчитывается более двух десятков остатков изолированных листьев разной степени сохранности в виде отпечатков и фитолейм. Листья имеют субпараллельную ориентировку; средние и крупные, продолговато-овальные, широкая часть приходится на середину листа либо немного выше середины, верхушки закругленные или тупоокруглые. К основанию лист сужается постепенно, основание оттянуто в черешок. Жилкование параллельное, на 10 мм ширины листа приходится 23–27 жилок. Черешки не обнаружены, однако в некоторых отпечатках имеется основание листа, на котором видны четыре жилки, входящие в лист, две крайние из них сразу же дихотомируют. Длина листьев в образце варьирует от 20 до 50 мм (истинную длину некоторых отпечатков установить не представляется возможным в связи с фрагментарностью материала), ширина от 8 до 12 мм.

С р а в н е н и е . Наибольшее сходство листья имеют с *P. eichwaldii* Schimper из нижнемеловых отложений (апт – альб) Западной Сибири [4].

М е с т о н а х о ж д е н и е . Верхнеюрские и нижнемеловые отложения Сибири (п-ов Ямал), Тасийская скв. 161, гл. 2214 м, танопчинская свита.

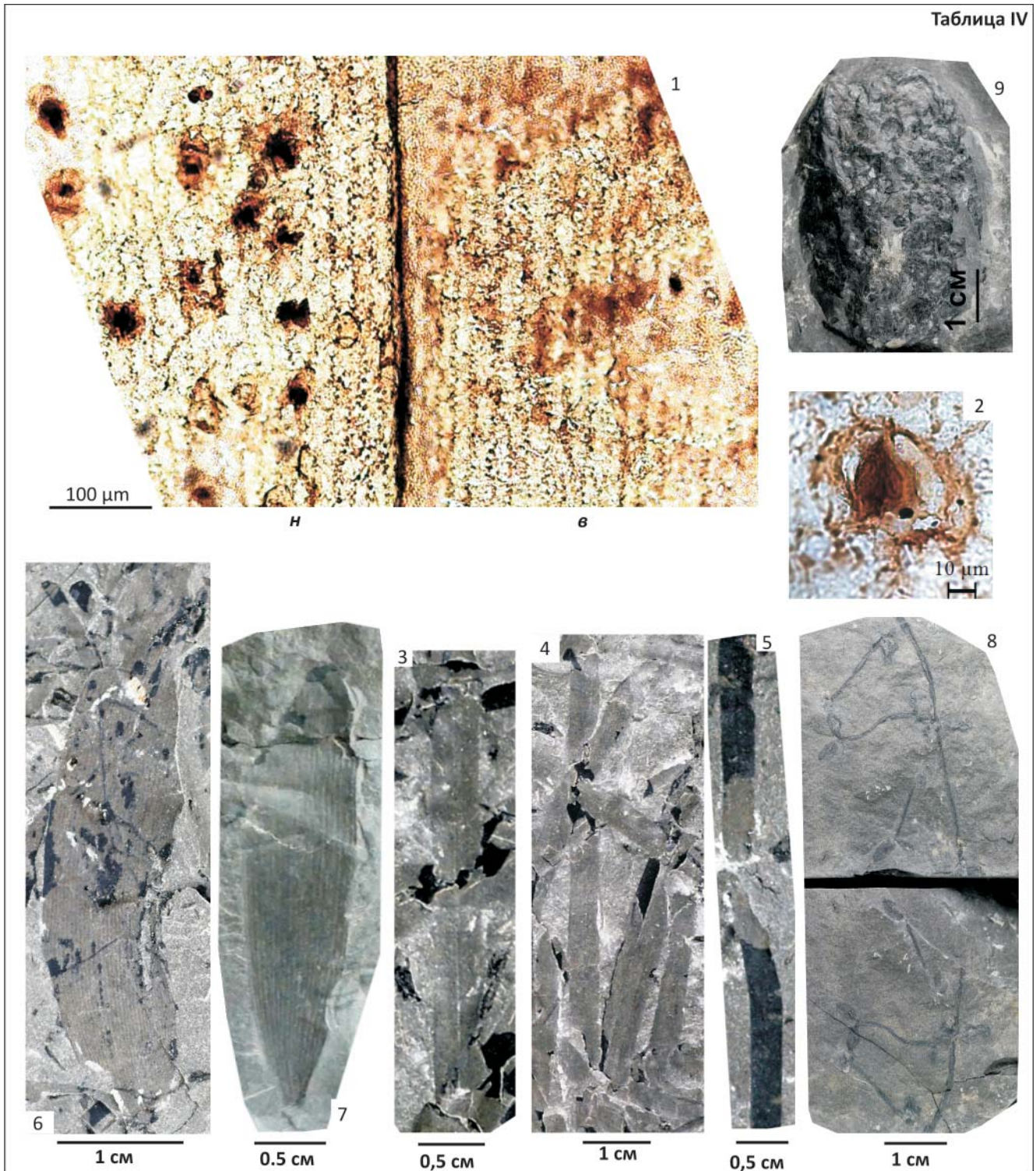
Род *Cephalotaxopsis* Fontaine, 1889

Cephalotaxopsis cf. *sangarensis* Vassilevski

Табл. II, фиг. 6

М а т е р и а л . Обр. № 116/1334, Тасийская скв. 161.

Таблица IV



Описание. Отпечаток и противоотпечаток хвойного стерильного побега с узкими линейными листьями, прикрепляющимися супротивно парами по двурядной спирали к побегу. Длину листьев достоверно установить невозможно, однако она превышает 22 мм при ширине в 2 мм. Сегменты прикрепляются к побегу толщиной 1,5 мм и отходят от него в среднем под углом 75°, немного изгибаясь кверху. Листья у основания резко сужаются, располагаются на стержне относительно рыхло, на расстоянии 1,5–2 мм друг от друга. Посередине листьев отчетливо видна единственная толстая жилка.

Сравнение. Находка отнесена к меловому роду *Cephalotaxopsis*, сближаемому с головчато-тиссовыми. Наличие срединной жилки и спиральное расположение сегментов на рахисе свидетельствует о принадлежности находки к хвойным.

У описываемого отпечатка имеется сходство с *C. borealis* Samyl. из нижнемеловых отложений бассейна р. Колыма. Однако наиболее сходен изучаемый отпечаток с *C. sangarensis* Vassilevski. Сходство заключается в расположении сегментов на рахисе: у *C. sangarensis* они прикрепляются практически под прямым углом [2]. Однако этот признак может изме-

Фиг. 1–5. Листья *Pityophyllum* cf. *nordenskioldii*: 1 – разворот кутикулярной пленки листовой пластинки (поверхность: *н* – нижняя, *в* – верхняя); 2 – устьичный аппарат на эпидерме листа, 3–5 – отпечатки листьев с фитолеммой. П-ов Ямал, обр. № 116/1335, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2333,65 м; обр. 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 6, 7. Отпечатки единичных листьев *Podozamites eichwaldii*. П-ов Ямал, обр. № 116/1334, Тасийская пл., скв. 161, гл. 2214 м; обр. 116/1338, Малыгинская пл., скв. 53, гл. 2412,8 м; нижний мел.

Фиг. 8. *Planta 1.* Семена неопределенного систематического положения на длинных стебельках. П-ов Ямал, обр. № 116/1301, Малыгинская пл., скв. 51, гл. 2295,0–2313,0 м; нижний мел.

Фиг. 9. *Planta 2.* Плодовое тело (гранатовидное) неопределенного систематического положения. П-ов Ямал, обр. № 116/1300, Западно-Тамбейская пл., скв. 43, гл. 2170,0–2197,0 м; нижний мел.

няться в пределах одного вида и относиться к разным частям побега. Аналогичная находка описана В. А. Самылиной из омсукчанской свиты, однако отличие наблюдается также в меньшем угле наклона по отношению к рахису и размерах сегментов. Это не исключает принадлежность к одному и тому же виду, но разным стадиям роста растения [16].

М е с т о н а х о ж д е н и я . Нижнемеловые отложения п-ова Ямал, Тасийская скв. 161, гл. 2214 м, танопочинская свита; нижнемеловые отложения бассейна р. Лена, буор-кемюсская и омсукчанская свиты.

Род *Cephalotaxus* Siebold et Zuccarini, 1842
Cephalotaxus cf. *ussuriensis* Krassilov
Табл. II, фиг. 7, 8

М а т е р и а л . Обр. 116/1337, отпечатки семян, Тасийская скв. 161.

О п и с а н и е . Семена с округлыми очертаниями и заостренной верхушкой. Поверхность семени слабо скульптурирована, на одном из семян сохранилась в виде полупрозрачной пленки бурого цвета. Вдоль края проходит щелевидное отверстие, образованное в результате раскола двух половинок склеротесты. На переднем края, где видна щель, имеется небольшой приостренный выступ. Размеры первого семени составляют 7 мм в длину и 6 в ширину; второго – 5 и 4 мм соответственно. Наиболее широкая часть приходится на нижнюю половину семени.

С р а в н е н и я . От семян других родов их отличает приближенная к овальной форма, отсутствие летучек и приостренная верхушка. Наибольшее сходство описанные остатки имеют с семенами *C. ussuriensis* Krassilov из нижнемеловых отложений Приморья. В. А. Красилов предполагает, что обнаруженные в одном образце семени принадлежат тому же растению, что и листья [10].

М е с т о н а х о ж д е н и е . Нижнемеловые отложения Западной Сибири (п-ов Ямал), Тасийская скв. 161, гл. 2447,65 м, танопочинская свита.

Корни, семена и другие образования неопределенного систематического положения

Род *Radicites* H. Potonie, 1893
Radicites sp.
Табл. I, фиг. 3

М а т е р и а л . Обр. № 116/1332, Тасийская скв. 161.

О п и с а н и е . Отпечатки корней растений, представленных стержнем толщиной 1,5–3 мм и отходящих от него вниз под углом 70° на различных расстояниях друг от друга, длинные, иногда короткие, тонкие и прямые боковые корешки. На стержне при увеличении можно рассмотреть продольную морщинистость. На поверхности отпечатков стержней видны следы мест прикрепления несохранившихся корешков, указывающие на тесное расположение последних. Боковые корешки лежат более тесно и имеют наименьшую ширину ближе к низу стержня.

С р а в н е н и е . Описываемые находки корневой системы могут указывать на наличие палеопочв в данных отложениях. Отпечатки корней, идущих как вдоль поверхности напластования, так и секущих их под углом примерно 60°. Подобные остатки описывались Ю. В. Тесленко [17] из среднеюрских отложений Кузнецкого и Чулымо-Енисейского бассейнов.

М е с т о н а х о ж д е н и я . Среднеюрские отложения Кузнецкого бассейна, бассейн р. Бунгарап (осиновская свита); Чулымо-Енисейский бассейн, окрестности Красноярска, пос. Кубеково, итатская свита, нижнемеловые отложения севера Западной Сибири (п-ов Ямал), Тасийская скв. 161, гл. 2178,4 м, танопочинская свита.

Planta 1
Табл. IV, фиг. 8

М а т е р и а л . Обр. № 116/1301, Малыгинская скв. 51.

О п и с а н и е . Семена неопределенного систематического положения на длинных тонких стебельках. Отпечатки одного овального семени, раскрывшегося вдоль на две части или два отдельных плоских семени, сидящих на тонких длинных (до 2,5 мм) стебельках. Поверхность семян неровная, наблюдается продольная ребристая смятость в центральной части на одной доле, на других же поверхность ровная. Семя в центральной части толще, слегка выпуклое. На всех отпечатках длина семян 5 мм, ширина 2,5 мм, длина главного стебля около 35 мм. На одном отпечатке (у края образца) при большом увеличении видны мелкие игольчато-треугольные чешуйки, расположенные по спирали, возможно, принадлежащие тому же растению.

Местонахождение. Нижнемеловые отложения п-ова Ямал, Малыгинская скв. 51, гл. 2295,0–2313,0 м, таноупчинская свита.

Planta 2

Табл. IV, фиг. 9

Материал. Обр. № 116/1301–1, 2, Западно-Тамбейская скв. 43.

Описание. Отпечаток плодового тела неопределенного систематического положения овального продольного сечения, отдаленно напоминающего гранат, длиной 50 мм и шириной 35 мм. Центральной оси не наблюдается, внутреннее пространство заполнено зернами, характер расположения которых неясен. Вероятно, плод был покрыт оболочкой толщиной до 1,5 мм, о чем может свидетельствовать кайма по краю отпечатка.

Местонахождение. Нижнемеловые отложения п-ова Ямал, гл. 2170,0–2197,0 м, таноупчинская свита.

Выводы

Изучение находок раннемеловой флоры позволило выявить помимо уже известных и широко распространенных видов *Podozamites renii*, *P. eichwaldii*, *Pityophyllum* cf. *nordenskioldii* ряд новых для исследуемой территории таксонов. Впервые в отложениях таноупчинской свиты п-ова Ямал были обнаружены остатки листьев головчато-тиссовых *Cephalotaxopsis* cf. *sangarensis*, а также большое скопление *Pterophyllum lavrovii* Kiritchkova, относящихся к беннетитовым, отпечатки листьев *Ginkgodium* sp. и семян *Cephalotaxus* cf. *ussuriensis*. Некоторые остатки были отнесены к растениям неопределенного систематического положения (корни *Radicitis* sp., семена *Planta 1* и *Planta 2*).

Таким образом, проанализировав систематический состав описанного комплекса, можно сделать вывод о том, что таксономический состав раннемеловой флоры постепенно стал меняться при усилении влияния с стороны восточных районов (бассейны рек Лена, Колыма, Омсукчан), что проявилось в увеличении роли беннетитовых и новых для Западной Сибири в раннем мелу видов папоротников (*Coniopteris* cf. *setacea*, *Scleropteris* cf. *dahurica*). Однако многие хвойные по-прежнему преобладали. Сохранность растительных остатков указывает на незначительный их перенос, что может свидетельствовать об их произрастании в речном бассейне (возможно, пойме) в приустьевой (дельтовой) зоне. Новые данные, полученные благодаря расширению площадей геолого-разведочных работ на север Западной Сибири, в дальнейшем будут способствовать уточнению видового состава нижнемеловых комплексов растений и палеогеографических карт Западной Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстрицкая Л. И. О растительных остатках из нижнемеловых отложений Западно-Сибирской рав-

нины (Томская область) // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1988. – С. 90–99.

2. Василевская Н. Д. Голосеменные растения из угленосных отложений Сангарского района (Ленский угленосный бассейн). – Л., 1959. – С. 56–88. – (Тр. НИИГА; вып. 15).

3. Киричкова А. И. Фитостратиграфия и флора юрских и нижнемеловых отложений Ленского бассейна. – Л.: Недра, 1985. – 223 с.

4. Киричкова А. И., Тесленко Ю. В. Ископаемые растения из нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности. – Л.: Гостехиздат. 1962. – С. 223–229. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 22).

5. Киричкова А. И., Батяева С. К., Быстрицкая Л. И. Фитостратиграфия юрских отложений юга Западной Сибири. – М.: Недра, 1992. – 216 с.

6. Киричкова А. И., Костина Е. И., Быстрицкая Л. И. Фитостратиграфия и флора юрских отложений Западной Сибири. – СПб.: Недра, 2005. – 378 с.

7. Киричкова А. И., Травина Т. А., Быстрицкая Л. И. Род *Phoenicopsis*. Систематика, история, распространение, значение для стратиграфии. – СПб.: ВНИГРИ, 2002. – 205 с. – (Биохронология и биостратиграфия фанерозоя нефтегазоносных бассейнов России; вып. 3).

8. Красилов В. А. Меловая флора Сахалина. – М.: Наука, 1979. – 142 с.

9. Красилов В. А. Новые данные по флоре и фитостратиграфии верхнего мела Сахалина // Ископаемые флоры и фитостратиграфия Дальнего Востока. – Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 1973. – С. 52–77.

10. Красилов В. А. Раннемеловая флора Южного Приморья и ее значение для стратиграфии. – М.: Наука, 1967. – 364 с.

11. Мейен С. В. Основы палеоботаники. Справочное пособие. – М.: Недра, 1987. – 403 с.

12. Принада В. Д. Мезозойская флора Восточной Сибири и Забайкалья. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 368 с.

13. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. (объяснительная записка) / ред. Ф. Г. Гурари. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с.

14. Самылина В. А. Мезозойская флора левобережья р. Колымы (Зырянский угленосный бассейн). Ч. I. Хвощовые, папоротники, цикадовые, беннеттитовые // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. VIII. – 1964. – Вып. V. – С. 40–79.

15. Самылина В. А. Мезозойская флора левобережья р. Колымы (Зырянский угленосный бассейн). Ч. II. Гинкговые, хвойные. Общие главы // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. VIII. – 1967. – Вып. VI. – С. 133–176.

16. Самылина В. А. Меловая флора Омсукчана (Магаданская область). – Л.: Наука, 1976. – 206 с.



17. Тесленко Ю. В. Стратиграфия и флора юрских отложений Западной и Южной Сибири и Тувы. – М.: Недра. 1970. – 269 с.

18. Тесленко Ю. В., Маркова Л. Г. Нижнемеловая флора Западно-Сибирской низменности. – Л.: Гостехиздат, 1962. – С. 219–223. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 22).

REFERENCES

1. Bystritskaya L.I. [On vegetable remains from the Lower Cretaceous deposits of the West Siberian Plain (Tomsk Region)]. *Materialy po paleontologii i stratigrafii Zapadnoy Sibiri* [Materials on paleontology and stratigraphy of West Siberia]. Tomsk, State University Publ., 1988, pp. 90–99. (In Russ.).

2. Vasilevskaya N.D. *Golosemennye rasteniya iz uglenosnykh otlozheniy Sangarskogo rayona (Lenskiy uglenosnyy basseyn)* [Gymnosperms from coal-bearing sediments of Sangar District (Lena coal-bearing basin)]. Leningrad, NIIGA Publ., 1959, pp. 56–88. (In Russ.).

3. Kirichkova A.I. *Fitostratigrafiya i flora yurskikh i nizhnemelovykh otlozheniy Lenskogo basseyna* [Phytostratigraphy and flora of the Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the Lena Basin]. Leningrad, Nedra Publ., 1985. 223 p. (In Russ.).

4. Kirichkova A.I., Teslenko Yu.V. *Iskopaemye rasteniya iz nizhnemelovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Fossil plants from the Lower Cretaceous deposits of the West Siberian Plain]. Leningrad, Gostekhizdat Publ., 1962, pp. 223–229. (In Russ.).

5. Kirichkova A.I., Batyaeva S.K., Bystritskaya L.I. *Fitostratigrafiya yurskikh otlozheniy yuga Zapadnoy Sibiri* [Phytostratigraphy of Jurassic deposits in the south of West Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 216 p. (In Russ.).

6. Kirichkova A.I., Kostina Ye.I., Bystritskaya L.I. *Fitostratigrafiya i flora yurskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri* [Phytostratigraphy and flora of the Jurassic deposits of West Siberia]. Saint Petersburg, Nedra Publ., 2005. 378 p. (In Russ.).

7. Kirichkova A.I., Travina T.A., Bystritskaya L.I. *Rod Phoenicopsis. Sistematika, istoriya, rasprostranenie, znachenie dlya stratigrafii* [Genus *Phoenicopsis*. Systematics, history, distribution, meaning for stratigraphy]. Saint Petersburg, VNIGRI Publ., 2002. 205 p. (In Russ.).

8. Krasilov V.A. *Rannemelovaya flora Yuzhnogo Primor'ya i ee znachenie dlya stratigrafii* [Early Cretaceous flora of the Southern Primorsky Krai and its significance for stratigraphy]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 364 p. (In Russ.).

9. Krasilov V.A. [New data on flora and phytostratigraphy of the Upper Cretaceous of Sakhalin]. *Iskopaemye flory i fitostratigrafiya Dal'nego Vostoka* [Fossil flora and phytostratigraphy of the Far East]. Vladivostok, 1973, pp. 52–77. (In Russ.).

10. Krasilov V.A. *Rannemelovaya flora Sakhalina* [Early Cretaceous flora of Sakhalin]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 142 p. (In Russ.).

11. Meyen S.V. *Osnovy paleobotaniki. Spravochnoe posobie* [Basics of paleobotany. Reference Guide]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 403 p. (In Russ.).

12. Prinada V.D. *Mezozoyskaya flora Vostochnoy Sibiri i Zabaykal'ya* [Mesozoic flora of East Siberia and Transbaikal]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1962. 368 p. (In Russ.).

13. Gurari F.G., ed. *Reshenie 6-go Mezhdvornostvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu utochnennykh stratigraficheskikh skhem mezozoyskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri, Novosibirsk, 2003 (ob'yasnitel'naya zapiska)* [Decision of the 6th Interdepartmental Stratigraphic Meeting on Considering and Accepting Refined Stratigraphic Charts of the Mesozoic of West Siberia, Novosibirsk, 2003 (Explanatory Note)]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2004. 114 p. (In Russ.).

14. Samylina V.A. [Mesozoic flora of the Kolyma left bank (Zyryanka coal-bearing basin). Part I. Equisetites, ferns, cycads, bennettitales]. *Paleobotanika*, Leningrad, Nauka Publ., 1964, no. V, pp. 39–79. (In Russ.).

15. Samylina V.A. *Mezozoyskaya flora levoberezhya r. Kolymy (Zyryanskiy uglenosnyy basseyn). Ch. II. Ginkgove, khvoynye. Obshchie glavy* [Mesozoic flora of the Kolyma left bank (Zyryanka coal-bearing basin). Part II. Ginkgo, conifers. General chapters]. *Paleobotanika*, Leningrad, Nauka Publ., 1967, no. VI, pp. 135–175. (In Russ.).

16. Samylina V.A. *Melovaya flora Omsukchana (Magadanskaya oblast')* [Cretaceous flora of Omsukchan (Magadan Region)]. Leningrad, Nauka Publ., 1976. 206 p. (In Russ.).

17. Teslenko Yu.V. *Stratigrafiya i flora yurskikh otlozheniy Zapadnoy i Yuzhnoy Sibiri i Tuva* [Stratigraphy and flora of the Jurassic deposits of Western and Southern Siberia and Tuva]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 269 p. (In Russ.).

18. Teslenko Yu.V., Markova L.G. *Nizhnemelovaya flora Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Lower Cretaceous flora of the West Siberian Plain]. Leningrad, Gostekhizdat Publ., 1962, pp. 219–223. (In Russ.).

© А. И. Муравьев, 2019



УДК (553.98:551.243.4):550.8(571.53–13)

ВЕРХНЕЛЕНСКОЕ СВОДОВОЕ ПОДНЯТИЕ – ГЛАВНЫЙ ОБЪЕКТ ПОДГОТОВКИ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ НА ЮГЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

А. Г. Вахромеев^{1,2}, А. С. Смирнов^{3,5}, А. М. Мазукабзов¹, И. В. Горлов^{1,3}, Н. В. Мисюркеева^{1,4},
Г. Я. Шутов⁶, В. В. Огибенин³

¹Институт земной коры, Иркутск, Россия; ²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия; ³ООО «Газпром геологоразведка», Тюмень, Россия; ⁴ООО «Сигма-гео», Иркутск, Россия; ⁵Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; ⁶Институт физики земли РАН, Москва, Россия

Современные итоги геолого-разведочных работ на уникальном Ковыктинском газоконденсатном месторождении в Иркутской области рассмотрены как результат развития концептуальных представлений о перспективах нефтегазоносности юга Сибирской платформы. Детально проработаны известные представления разных лет о геологической позиции месторождения, локализованные запасы которого составляют более 2,7 трлн м³. Учтен значительный по объему массив накопленных данных глубокого бурения и полевой геофизики о строении осадочного чехла и поверхности кристаллического фундамента южной и юго-восточной частей кратона, включая новейшие геолого-геофизические данные. Сделан вывод, что наиболее корректно результаты более чем 70-летних работ на нефть и газ укладываются в геологическую модель крупного Верхнеленского неотектонического сводового поднятия, предложенную в 1980-е гг. геологами ВостСибНИИГГиМС Мингео СССР. Унаследованное поднятие с нижнего палеозоя и до современного времени сформировано «перекосом» ложа осадочного чехла платформенной части амфитеатра и неравномерными вертикальными движениями Ангаро-Ленского и Ангаро-Саянского краевых прогибов в результате тектонических движений разной амплитуды. Намечены и обоснованы контуры Ангаро-Ковыктинской зоны нефтегазоаккумуляции – объекта первоочередных геолого-разведочных работ с целью прироста ресурсной базы природного газа на юге Иркутской области.

Ключевые слова: Ковыктинское газоконденсатное месторождение, Ангаро-Ковыктинская зона нефтегазоаккумуляции, Верхнеленское поднятие, краевые (рифейские) прогибы, шарьяжно-надвиговая тектоника, виргации линейной складчатости.

THE UPPER LENA ARCHED UPLIFT IS THE MAIN OBJECT OF PREPARING A RESOURCE BASE OF HYDROCARBONS IN THE SOUTH OF THE SIBERIAN PLATFORM

А. G. Vakhromeev^{1,2}, A. S. Smirnov^{3,5}, A. M. Mazukabzov¹, I. V. Gorlov^{1,3}, N. V. Misyurkeeva^{1,4},
G. Ya. Shutov⁶, V. V. Ogibenin³

¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia; ²Institute of the Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia; ³Gazprom Geologorazvedka, Tyumen, Russia; ⁴Sigma-geo, Irkutsk, Russia; ⁵Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ⁶O.Yu.Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia

The current results of geological exploration at the unique Kovyktinskoye gas condensate field (GCF) in the Irkutsk Region are considered as a result of the development of conceptual ideas about the prospects of oil and gas potential in the south of the Siberian Platform. At the initial stage of oil and gas exploration, this area was called the Irkutsk Amphitheater, oil-and-gas-bearing, sedimentary basin. Later, most of it was included in the Angara-Lena Petroleum Region. The authors worked out in detail the well-known ideas of different years about the geological position of the unique Kovyktinskoye gas condensate field, whose localized reserves today amount to more than 2.7 trillion m³. A considerable volume of accumulated data of deep drilling and field geophysics on the structure of the sedimentary cover and the crystalline basement surface of the southern and southeastern part of the craton, including the latest geological and geophysical data, was taken into account. It is concluded that the most correct results of more than 70-year exploration for oil and gas fit into a geological model of the major Upper Lena neotectonic arched uplift proposed by geologists of the USSR MINGEO VostSibNIIGGiMS in the 1980s. The inherited uplift from the Lower Paleozoic to the present time is formed by a “skew” bed of sedimentary cover of the platform part of the amphitheater and irregular vertical movements of the fore deeps – the Angara-Lena and Angara-Sayan ones – as a result of tectonic movements differing in amplitude. Contours of the Angara-Kovykta oil and gas accumulation zone, the object of high-priority geological exploration, with the aim of increasing the resource base of natural gas in the south of the Irkutsk Region, were outlined and justified.

Keywords: Kovyktinskoye gas condensate field, Angara-Kovykta oil and gas accumulation zone, Upper Lena uplift, marginal (Riphean) depressions, overthrust tectonics, virgations of linear folding.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-38-56

По мнению акад. А. Э. Конторовича [13], именно доразведка уникальных месторождений Ковыктинского в Иркутской области и Чаяндинского в Реп-

спублике Саха (Якутия) позволит прирастить значительные объемы запасов газа и газового конденсата. Геолого-разведочными работами (ГРП) установле-



но, что основные перспективы прироста запасов УВ сосредоточены в вендском комплексе [23, 29, 30]. Балансовые запасы природного газа и газового конденсата Ковыктинского газоконденсатного месторождения (КГКМ) превышают 2,7 трлн м³. По итогам реализуемой ООО «Газпром геологоразведка» программы ГРП планируется довести их до 3,0–3,2 трлн м³. Представления о геологическом строении КГКМ корректируются по результатам ГРП [1, 8, 32, 34, 43]. Объектом научной дискуссии пока остаются контуры и строение Ковыктинской (или Ангаро-Ковыктинской) зоны нефтегазоаккумуляции (ЗНГА) Иркутского нефтегазоносного бассейна (НГБ) [1, 3, 8, 26, 36] и ее геолого-структурное положение, т. е. общий структурный и литологический контур территории, на которой размещены природные резервуары, залежи и месторождения УВ.

Ковыктинское месторождение занимает значительную площадь, охватывающую юго-восточную часть Иркутского амфитеатра Сибирской платформы, и по особенностям геологического строения и значительному объему углеводородов является уникальным объектом. Согласно «Тектонической схеме Сибирской платформы», месторождение располагается в низах нижнепалеозойского чехла Ангаро-Ленской ступени (Ангаро-Ленского палеопргиба) и тяготеет к зоне перехода от Непско-Ботуобинской антеклизы к Верхнеленской палеовпадине и к зоне сочленения платформенной области с Предпатомским региональным прогибом [30, 38, 39]. Месторождение находится на восточном фланге Верхнеленской палеовпадины, которая оконтурена по мощностям раннепалеозойских образований и соленасыщенности [4, 6].

Осадочный чехол рассматриваемой территории сложен венд-нижнепалеозойскими и частично рифейскими образованиями суммарной толщиной до 6000 м (по новым сейсморазведочным данным). Он построен ритмично и составляет закономерную последовательность в смене парагенезов формаций в вертикальном и горизонтальном направлениях [5, 14, 41]. Во внутренних частях региона разрез фанерозойского чехла представляет собой трехслойную систему, в которой средняя часть соленосная. К периферии Сибирской платформы соленосные породы замещаются сульфатно-карбонатными. Литолого-структурные особенности строения разреза позволяют выделить подсолевой, соленосный и надсолевой комплексы [3, 4, 6].

В *подсолевой* комплекс предположительно входят осадки байкальской серии нижнего венда (ранее датировались как верхний рифей, здесь бурением не изучены), терригенные отложения верхнего венда (ушаковская, непская свиты и их аналоги), карбонаты венда и нижнего кембрия. Комплекс с угловым несогласием залегает на породах фундамента, конформно облекая его поверхность. Отложения подсолевого комплекса являются основной газосодержащей толщей региона. В чорской свите

венда выделяются продуктивные боханский и парфеновский горизонты; ниже в подошве ухаковской свиты – базальный.

В *соленосный* комплекс входят образования усольской, бельской, булайской, ангарской и литвинцевской свит нижнего – среднего кембрия, преимущественно эвапориты, известняки, доломиты и ангидриты, переслаивающиеся между собой. Внутри отчетливо выделяются отдельные достаточно мощные пласты карбонатов (осинский пласт в низах усольской свиты, доломиты в бельской и булайской), а также большое количество более мелких прослоев, которые составляют компетентный каркас, способствующий передаче напряжений на значительные расстояния. В то же время наличие мощных пластов солей [4, 6, 22, 25, 26, 36, 37] обеспечивает высокую подвижность пород комплекса, что подтверждается присутствием большого количества зон срыва и скольжения. Наиболее мощные проявления соляного тектогенеза характерны для усольского и ангаро-литвинцевского интервалов. Не исключено, что по результатам текущих ГРП на Хандинской площади и южнее в краевом прогибе будут установлены вендские (тирские) соли, ранее выявленные бурением в Прибайкальском палеопргиба.

Надсолевой комплекс представлен карбонатно-терригенными породами красноцветной формации среднего – верхнего кембрия (верхоленская, илгинская свиты) и ордовика (усть-кутская, криволицкая, чертовская, макаровская).

Уникальное по локализованным запасам Ковыктинское ГКМ – основной и пока не до конца разведанный объект Ангаро-Ковыктинской зоны нефтегазоаккумуляции. Значительные по протяженности контуры месторождения в настоящее время картируются условно и определяются разбуренностью площади. Одна из опубликованных версий расположения и контуров Ангаро-Ковыктинской ЗНГА рассмотрена в работе Н.В. Мельникова с соавторами [23]. Исходя из принципов выделения зон нефтегазоаккумуляции как геологических объектов, принято рассматривать их с двух сторон. «С одной стороны, это геологический объект, выделяющийся на фоне остального осадочного чехла особенностями строения и историей развития, позволившими сформировать и сохранить месторождения нефти, газа и конденсата. С другой – это основной объект нефтегазопоисковых работ, и от того, насколько верно нефтяники представляют его ресурсный потенциал, настолько грамотно и успешно будут спланированы и проведены поиски и разведка месторождений углеводородов» [23, с. 1161–1162]. Базой для выделения и обоснования зон нефтегазоаккумуляции, оценки их ресурсного потенциала были и остаются важнейшие особенности их геологического строения.

Ангаро-Ковыктинская ЗНГА установлена Н. В. Мельниковым и др. в центральной части Ангаро-Ленской НГО, а ее восточная граница – это при-



ная граница Ангаро-Ленской ступени и Предпатомского регионального прогиба (РП): «Здесь открыто и разведано уникальное по запасам газа Ковыктинское месторождение с залежью в парфеновском горизонте венда. В непосредственной близости от него выявлены Чиканское, Ангаро-Ленское и Нарьягинское газоконденсатные месторождения. Ангаро-Ленское на начальной стадии изученности также оценивается как уникальное по запасам газа. Чиканское месторождение считается крупным, а Нарьягинское мелким по запасам УВ. Основные продуктивные горизонты, в которых установлена продуктивность, – парфеновский и боханский» [23, с. 1161].

«Четких структурных границ у зоны нет. Газоконденсатные залежи приурочены к неантиклинальным литологически ограниченными ловушкам на структурных террасах и мысах. Ковыктинское месторождение приурочено к одноименному структурному выступу, но его замыкание на востоке по данным бурения Хандинских скважин по парфеновскому горизонту еще не установлено. Площадь зоны 28800 км², нелокализованные извлекаемые ресурсы нефти оцениваются в 10 млн т, ресурсы газа – в 1700 млрд м³» [25, с. 1161]. Таким образом, расположение территории Ковыктинской ЗНГН как в общепринятом представлении [3, 14, 30, 42], так и в понимании Н. В. Мельникова и др. [23] рассматривалось в пределах юго-восточной моноклинали Ангаро-Ленской ступени, т. е. в пределах платформенной НГО. Причем перспективы связывались именно с приуроченностью к природному резервуару терригенного венда. Только парфеновский продуктивный горизонт чорской свиты является объектом ГРП [8]. Положительной геологической структурой, с точки зрения геологов-нефтяников является так называемый Ковыктинский выступ [3, 42].

Однако уже в работах А. Э. Конторовича и др. [17, 19], Г. Я. Шутова [47] геологическая позиция Ковыктинского ГКМ рассматривалась на склоне Ангаро-Ботуобинской антеклизы в зоне сочленения Байкало-Виллюйского (Предбайкало-Патомского регионального) краевого прогиба с Ангаро-Ленской ступенью (АЛС). Согласно уточненной схеме тектонического районирования Сибирской платформы [38] восточная граница Хандинской части КГКМ и Нарьягинского ГКМ картируются уже в контурах Предпатомского РП [1, 12, 26]. По нашему представлению, геологическая позиция двух месторождений УВ (Ковыктинского в современных контурах промышленной газоносности [1, 8] и Нарьягинского), восточные ограничения которых в природном резервуаре венда подтверждены бурением в пределах Предпатомского РП, являются важным аргументом в пользу расширения контуров Ангаро-Ковыктинской ЗНГН. По результатам глубокого бурения и испытания скважин нам представляется, что зона нефтегазонакопления пограничная, локализованная в узле сочленения АЛС и Предбайкало-Предпатомского регионального краевого прогиба

[10, 30, 42]. Другими словами, по результатам ГРП последних лет Ковыктинская ЗНГН расширена на восток за счет юго-западного борта Предпатомского РП (одноименный НГБ) [26, 29, 30] и, что крайне важно, локализована в зоне сочленения этих региональных тектонических структур. Северная граница рассматриваемой ЗНГН смещена на север и, очевидно, включает Южно-Усть-Кутскую площадь и Нарьягинское ГКМ. По Н. В. Мельникову и др. [23], юго-восточная граница включает Чиканское ГКМ. По нашему мнению, она должна быть пересмотрена. Доказанные бурением геолого-структурные границы Ковыктинской зоны нефтегазонакопления представляются нам той базой, на основе которой можно уточнить нефтегазогеологическое районирование.

Не отрицая роль литологического и тектонического факторов в ограничении природных резервуаров, вмещающих известные газоконденсатные залежи, вспомним, что на начальном этапе поисков на Ковыктинском ГКМ одним из первых было представление об объекте поисковых работ на нефть и газ [47] как о крупном (рис. 1) Верхнеленском антиклинальном поднятии или своде [3, 7, 18, 31 и др.] в северо-восточной части Ангаро-Ленской ступени, имеющем асимметричное строение со смещенной на восток осью субмеридионального простирания. Это поднятие окаймлено Усть-Ордынской мезокайнозойской впадиной с юга, крупными валообразными структурами Божеханского, Качугского и Хандинского валов и разбито Жигаловским разломом на два блока – южный Тутурский и северный Ковыктинский. В работе [5] в сопоставимых контурах выделены Ангаро-Ленское крупное валообразное неотектоническое поднятие (суммарная амплитуда 350–450 м, максимальная в сводовой части поднятия до 550 м) и Приленская зона предрифтовых структур.

Верхнеленское сводовое поднятие, в северо-восточной части Иркутского амфитеатра описано в работах [7, 46]. Первоначально поднятие было отражено на неотектонических картах [3, 7, 10, 11, 31, 46] и сопоставлено с крупной глыбой архейского возраста в фундаменте. Разломы в фундаменте, ограничивающие это поднятие, выделены в работах К. А. Савинского (1972 г.), уточнены на картах Г. Л. Митрофанова, А. П. Таскина (1984 г.), А. С. Барышева и др. (1999 г.) и обобщены в публикации ВНИГРИ [9]. По режиму проявления тектонических движений в новейший этап оно отнесено к областям горообразования. Суммарные амплитуды неотектонических поднятий здесь 500–1000 м [6], максимальные до 1500 м [7]. Верхнеленское сводовое поднятие – это наиболее крупный структурно-тектонический элемент в пределах АЛС и сопредельных структур с унаследованным развитием с мезозоя (ордовик), т. е. докайнозойским положительным трендом блоковых движений фундамента и осадочного чехла [3, 5, 18, 37]. Границы поднятия являются тектонически обусловленными и геоди-

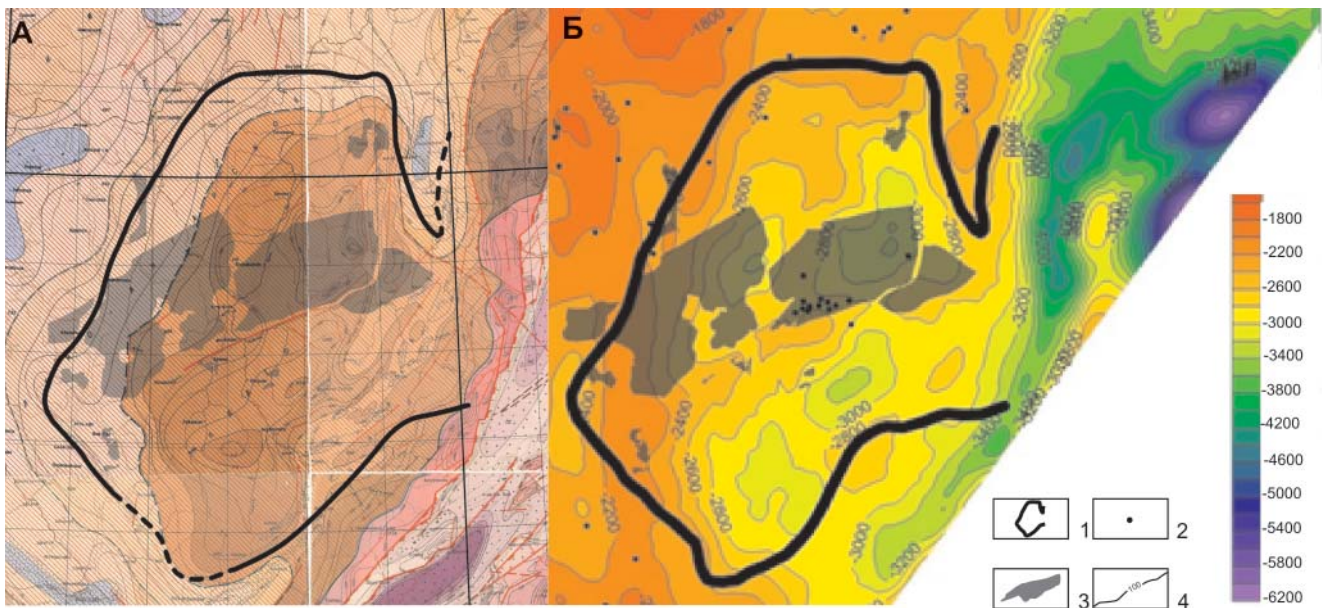


Рис. 1. Контуры Верхнеленского сводового поднятия: А – по геоморфологическим построениям [11]; Б – по гравиметрическим данным ООО «Газпром геологоразведка» (2018)

1 – контур поднятия; 2 – скважины глубокого бурения, вскрывшие фундамент; 3 – контуры месторождений; 4 – прогнозные глубины фундамента в области сводового поднятия

намически унаследованными и контролируются магистральными разломами в фундаменте юга кратона (рис. 2), положительной асимметричной мегаструктурой в чехле и контурами обрамляющих его прогибов (Предбайкальско-Предпатомского, Илимского и Предсаянского). Поднятие характеризуется наиболее приподнятой частью в области седловины (в районе пос. Карам), которая по границе с вендскими образованиями разделяет Предпатомскую и Предбайкальскую ветви краевого прогиба. Осевая линия с изгибом трассируется вдоль области сочленения платформенной моноклинали с каждым из этих прогибов.

Перспективы нефтегазоносности Верхнеленского «свода» обоснованы Г. Я. Шутовым [47], который рассматривал его структуру по кровле осинского горизонта усольской свиты. Важно, что по комплексу благоприятных признаков нефтегазоносности он положительно оценивал не только центральную платформенную часть АЛС, но и зону ее сочленения с Предбайкальским прогибом, включая и сам прогиб [47]. Здесь южнее Ангаро-Ковыктинской ЗНГН на юго-востоке Ангаро-Ленской НГО была намечена Верхоленско-Кудинская ЗНГН, которая «протягивается полосой с юго-запада на северо-восток вдоль Предбайкальского рифейского палеопрогиба. На вендском уровне здесь бурением изучена структурная терраса, в пределах которой на пути миграции УВ из прогиба в благоприятных структурных условиях, похожих на Ангаро-Ковыктинскую зону, прогнозируются газовые залежи в парфеновском и боханском горизонтах венда. Площадь зоны оценена в 17200 км², нелокализованные ресурсы газа 1400 млрд м³» [23, с. 1161].

Г. Я. Шутов полагал [47], что крупное (а по новым данным ГРП [1, 8] уникальное) Верхнеленское поднятие (рис. 2–4) на юге и юго-западе ограничено Куленгской седловиной и Божеханским валом [16], на востоке и юго-востоке – Прибайкальским и Предпатомским региональными прогибами. Северо-западное и северное погружения формируют современный структурный план моноклинали склона Ангаро-Ленской ступени. Таким образом, намеченная Верхоленско-Кудинская ЗНГН [23] также находится в контуре Верхнеленского сводового поднятия: это южная часть единой Ангаро-Ковыктинской зоны нефтегазоаккумуляции. Иначе говоря, южные контуры Ангаро-Ковыктинской ЗНГН по геологическому признаку необходимо рассматривать по Предбайкальскому прогибу, ограничивая их с юга по Божеханскому валу. Таким образом, в пределах одной структуры объединяются две известные зоны [25] с прежним названием – Ангаро-Ковыктинскую. В свою очередь, Ковыктинский блок (выступ) [3, 30, 42] – это северная часть единого сводового поднятия. При первых этапах ГРП здесь картировалась серия локальных поднятий по кровле карбонатного венда (так называемый Раздольненский вал) [47].

Установлено, что Предбайкальский палеопрогиб [41], а позже Предбайкальский новейший прогиб развивались унаследованно в течение длительного геологического времени [3, 5, 6, 40]. Он имеет четкие геологические границы с Верхнеленским сводовым поднятием, определенные как по кровле кристаллического фундамента (см. рис. 3), так и по структурным планам рифея – терригенного венда (Божеханский вал в отложениях венда, выявленный по результатам бурения Божеханской скв. 1 [13]) и галогенно-карбонатного кембрия

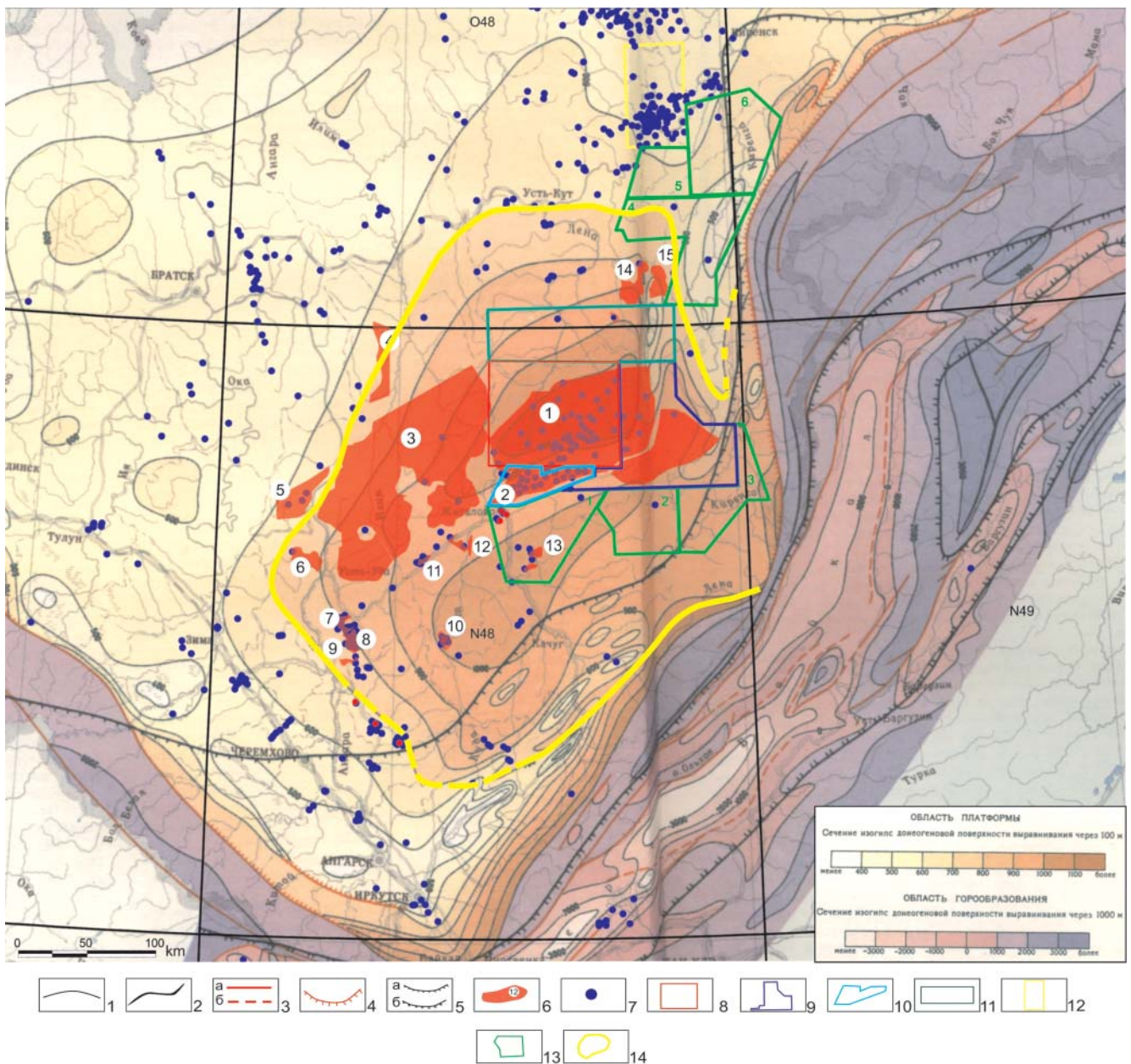


Рис. 2. Сопоставление контуров углеводородных месторождений Ангаро-Ленской ступени юга Предпатомского РП (2016 г.) с границами Верхнеленского неотектонического поднятия [44]

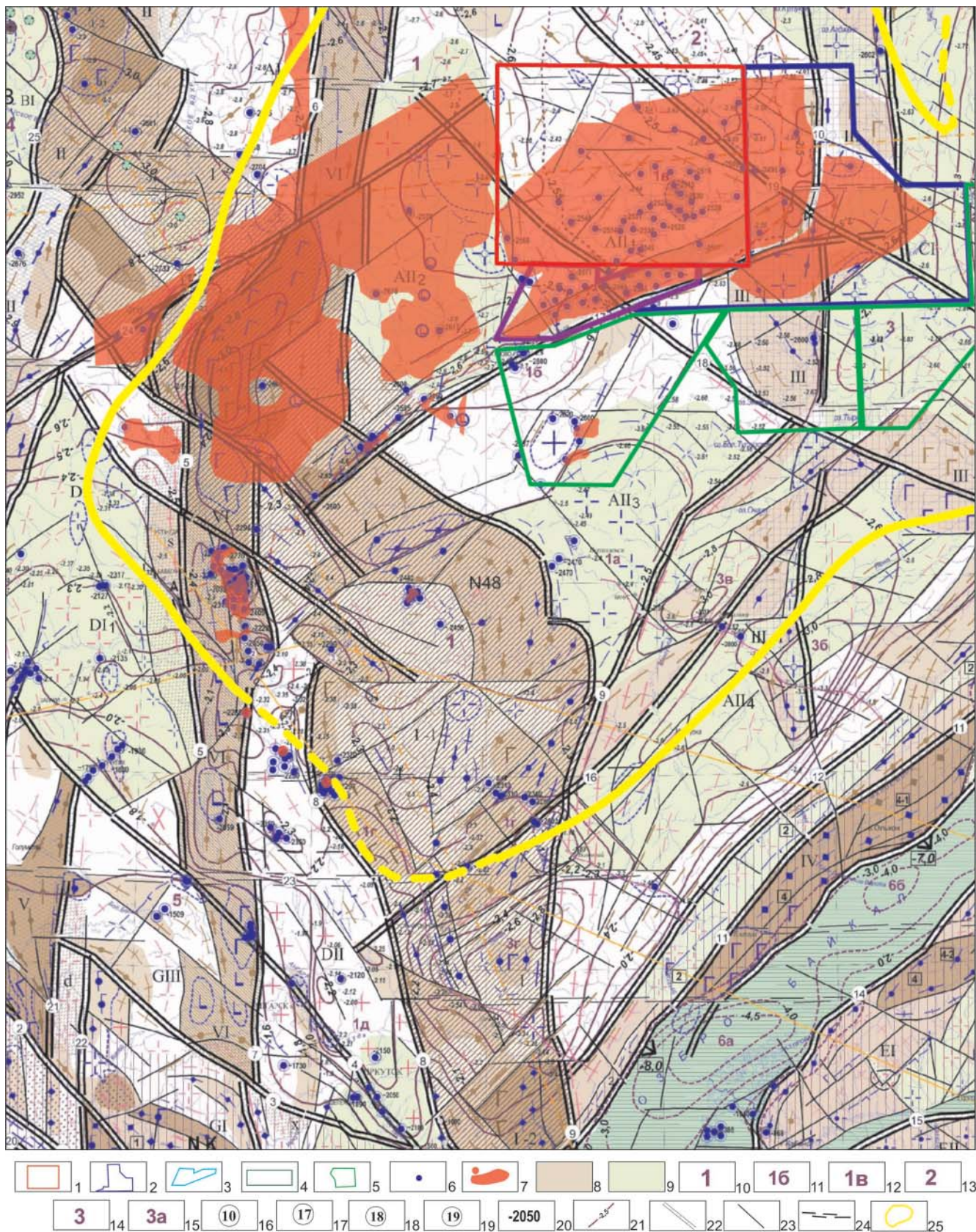
1 – изогипсы донеогеновой поверхности выравнивания; 2 – оси сводовых поднятий; 3 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 4 – флексуры, осложненные разломами; 5 – внешние границы области землетрясений: а – 7 баллов, б – 9 баллов; 6 – месторождения и залежи УВ (1 – Ковыктинское, 2 – Чиканское, 3 – Ангаро-Ленское, 4 – Ангаро-Илимское, 5 – Левобережное, 6 – Заславское, 7 – Балаганкинское, 8 – Атовское, 9 – Шамановское, 10 – Христофоровское, 11 – Балыхтинское, 12 – Знаменское, 13 – Тутурское, 14 – Нарьягинское, 15 – Таежное); 7 – скважины глубокого бурения; 8–12 – лицензионные участки: 8 – Ковыктинский, 9 – Хандинский, 10 – Чиканский, 11 – Южно-Усть-Кутский, 12 – Северо-Марковский; 13 – участки недр нераспределенного фонда: 1 – Тутурский, 2 – Нотайский, 3 – Ульканский, 4 – Верхнеульканский, 5 – Казаркинский, 6 – Нижнекиренский; 14 – контур Верхнеленского неотектонического поднятия

(Ахинский вал). Еще резче выражены его границы с Байкальской группой рифтовых структур, где они совпадают с интенсивно активизированными разломами, амплитуды смещений по которым в но-

вейшее время достигли 700–1000 м. Здесь пробурена параметрическая Прибайкальская скв. 1, вскрывшая качергатскую свиту трехчленного байкальского комплекса.

Рис. 3. Сопоставление контура Верхнеленского свода и доказанного контура газоносности КГКМ на карте поверхности гетерогенного кристаллического фундамента по [9] в области Верхнеленского сводового поднятия

1–4 – лицензионные участки: 1 – Ковыктинский, 2 – Хандинский, 3 – Чиканский, 4 – Южно-Усть-Кутский; 5 – участки нераспределенного фонда недр; 6 – скважины глубокого бурения; 7 – месторождения и залежи УВ; 8 – зоны развития



плотных и значительно плотных образований кристаллического фундамента; 9 – области значительного корового разуплотнения; 10–15 – основные структурные элементы поверхности кристаллического фундамента: 10 – Ангаро-Ленская ступень, 11 – Жигаловский прогиб, 12 – Ковыктинская структурная терраса, 13 – Непско-Ботуобинская антеклиза, Усть-Кутский свод, 14 – Прибайкальский прогиб, 15 – Ульканская впадина; 16–19 – основные разломы, в том числе структурные швы: 16 – Хандинский, 17 – Верхнеленско-Коченгский, 18 – Орлингский, 19 – Жигаловский; 20 – абсолютные отметки кровли, м; 21 – изогипсы кровли поверхности дорифейского кристаллического фундамента, км; 22–24 – тектонические нарушения: 22 – основные, 23 – второстепенные, 24 – зоны трещиноватости субширотного плана; 25 – контур Верхнеленского неотектонического поднятия

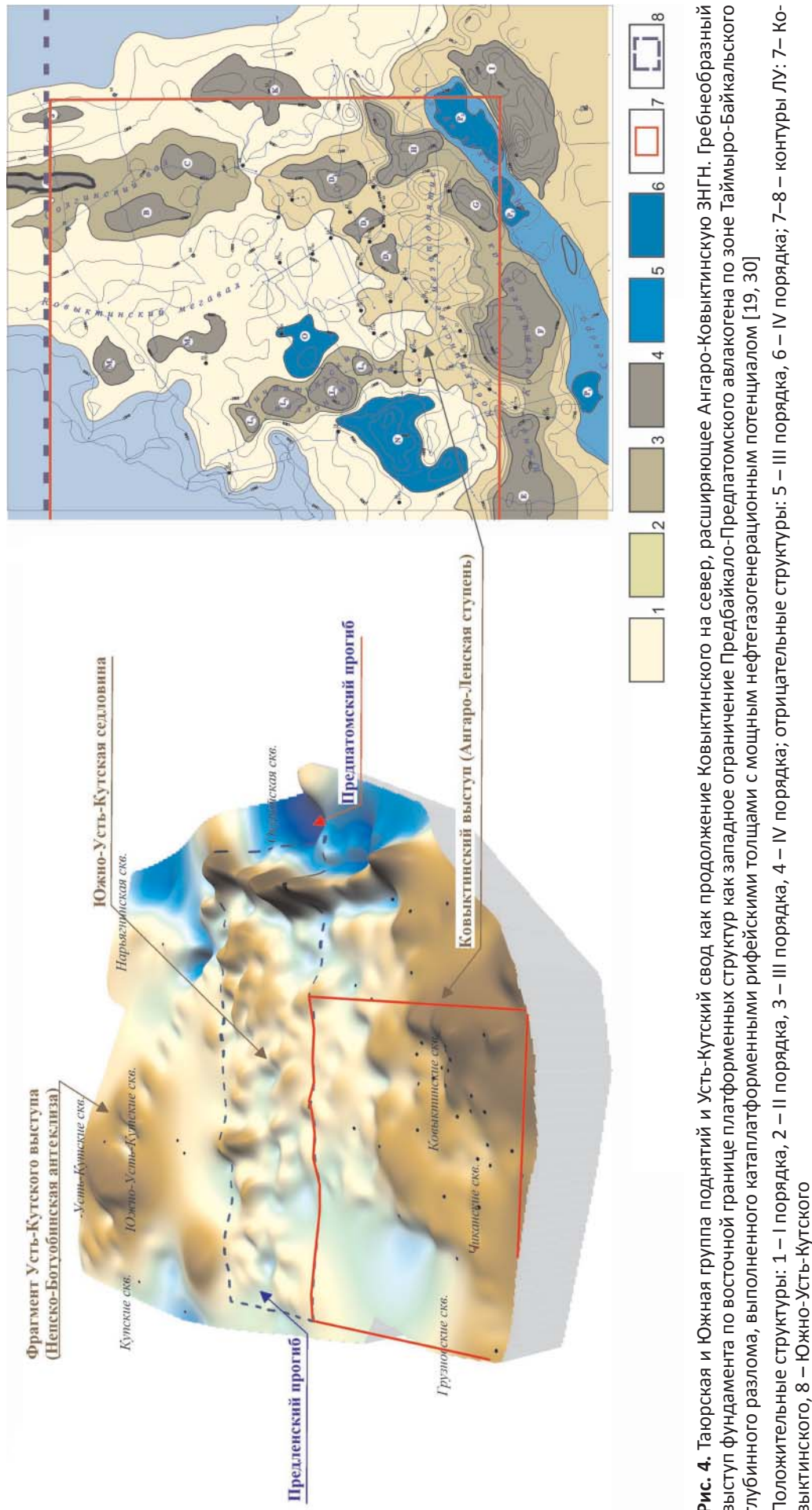


Рис. 4. Таюрская и Южная группа поднятий и Усть-Кутский свод как продолжение Ковыктинского на север, расширяющее Ангаро-Ковыктинскую ЗНГН. Гребнеобразный выступ фундамента по восточной границе платформенных структур как западное ограничение Предбайкало-Предплатомского авлакогена по зоне Таймыро-Байкальского глубинного разлома, выполненного катаплатформенными рифейскими толщами с мощным нефтегазогенерационным потенциалом [19, 30]
 Положительные структуры: 1 – I порядка, 2 – II порядка, 3 – III порядка, 4 – IV порядка, 5 – III порядка, 6 – IV порядка; 7–8 – контуры ЛУ: 7 – Ковыктинского, 8 – Южно-Усть-Кутского

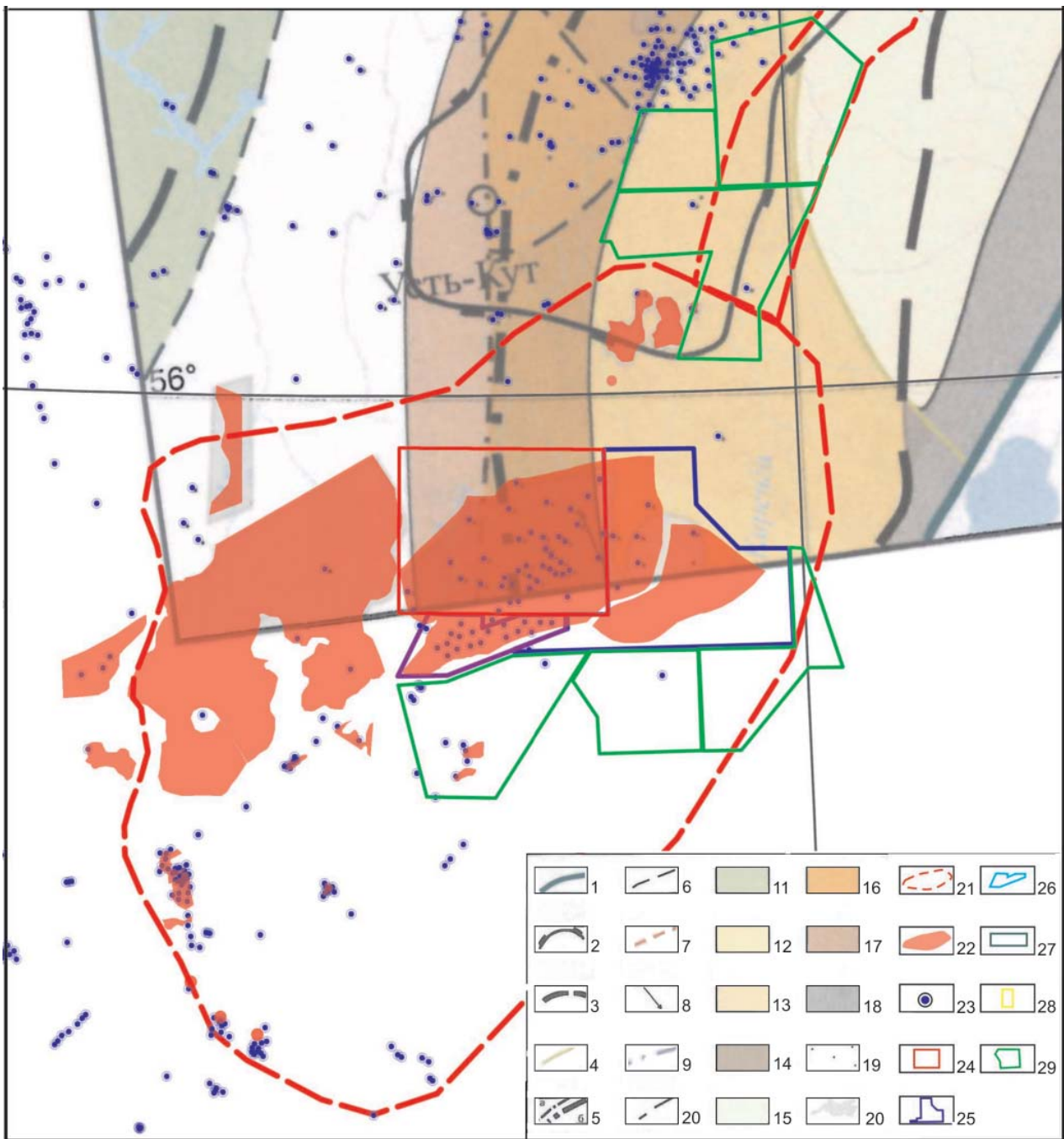


Рис. 5. Сопоставление Главной шарнирной зоны нефтегазонакопления Непско-Ботубобинской антеклизы [24] и обоснованных в настоящей статье контуров единой Ангаро-Ковыктинской ЗНГН, объединенной с Верхоленско-Кудинской (на основе модели Н. В. Мельникова и др. [23] с учетом результатов ГРП [1, 8] последних лет)

Границы: 1 – Лено-Тунгусской провинции, 2 – Непско-Ботубобинской антеклизы, 3 – основных байкальских структур; 4 – рампы детачмента из венда в нижний кембрий; 5 – шарниры ранне- (а) и позднегерцинский (б); 6 – граница выклинивания песчаников терригенного венда; 7 – основные разрывы; 8 – перемещение части УВ из Ербогаченской ЗНГН в направлении Пришарнирной ЗНГН; 9 – раннекаледонский раздел областей сжатия и растяжения; 10 – граница выклинивания песчаников терригенного венда; 11 – Иркинеево-Чадобецкая нефтегазонаосная область; 12–17 – ЗНГН: 12 – Ербогаченская, 13 – Марковско-Чаяндинская, 14 – Паршинско-Талаканская, 15 – Ленская аллохтонная, 16 – Мирнинско-Ботубобинская, 17 – Пришарнирная; 18 – область частичного или полного разрушения скоплений УВ; 19 – глубокие скважины; 20 – месторождения нефти и газа; 21 – контуры Ангаро-Ковыктинской ЗНГН, объединенной с Верхоленско-Кудинской; 22 – месторождения; 23 – скважины глубокого бурения; лицензионные участки: 24 – Ковыктинский, 25 – Хандинский, 26 – Чиканский, 27 – Южно-Усть-Кутский, 28 – Северо-Марковский; 29 – участки нераспределенного фонда недр

Важно рассмотреть и Предсаянский новейший прогиб, совпадающий с Предсаянским нижнепалеозойским палеопрогибом и Иркутской мезозойской впадиной, выполненной юрскими толщами. Про-

гиб имеет асимметричное строение, северное его крыло (АЛС) пологое, а южное, примыкающее к Восточному Саяну, крутое, осложненное разломами и флексурами.

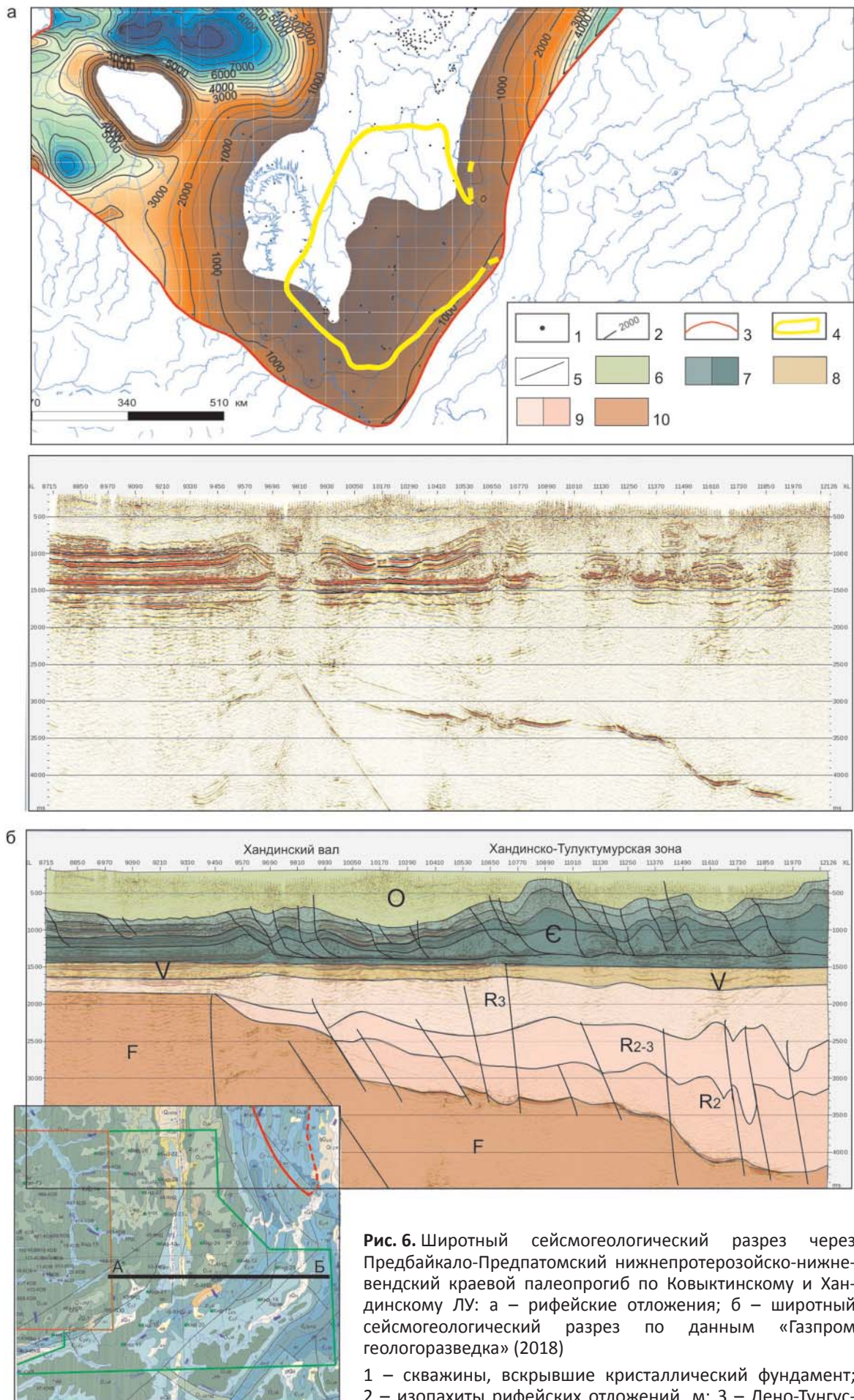


Рис. 6. Широтный сейсмогеологический разрез через Предбайкало-Предпатомский нижнепротерозойско-нижневендский краевой палеопргиб по Ковыктинскому и Хандинскому ЛУ: а – рифейские отложения; б – широтный сейсмогеологический разрез по данным «Газпром геологоразведка» (2018)

1 – скважины, вскрывшие кристаллический фундамент; 2 – изопакиты рифейских отложений, м; 3 – Лено-Тунгус-

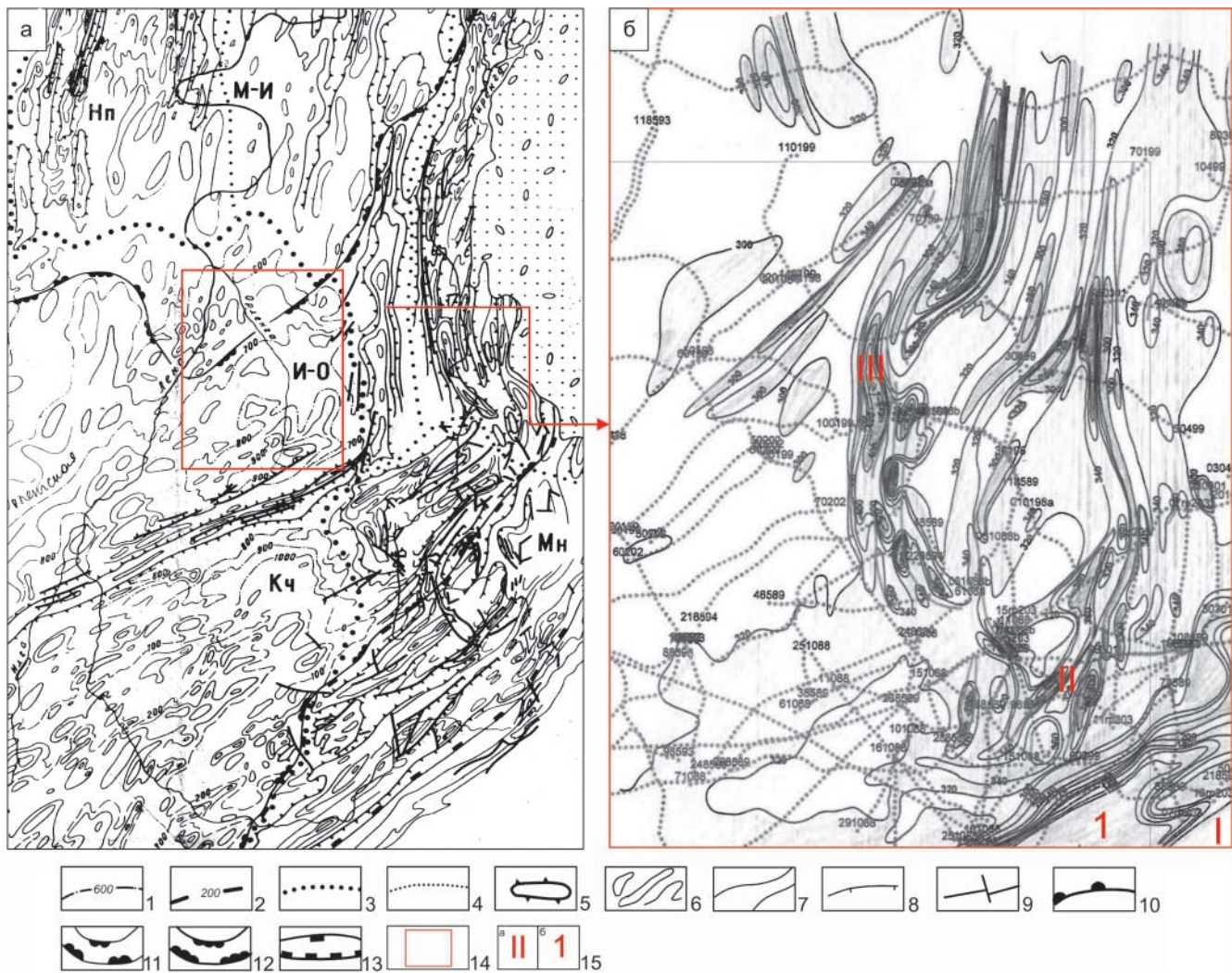


Рис. 7. Позиция Ковыктинского ГКМ на схеме складчатости осадочного чехла юга Сибирской платформы по [8] с детализацией картины линейной аллохтонной складчатости на структурной карте центрального блока КГКМ по отражающему горизонту N_3 (кровля нижнеангарской подсвиты нижнего кембрия, бильчирский горизонт) (по А. В. Малых, 1987; А. Г. Вахромееву и др., 2006)

1–2 – стратизогипсы: 1 – по кровле нижнеустькутской подсвиты раннего ордовика, 2 – по подошве верхоленьской свиты среднего – позднего кембрия; 3–4 – границы: 3 – областей линейной и брахиформной складчатости, 4 – зон складок (И-О – Илимско-Орленская, Кч – Качугская, М-И – Марковско-Ичерская, Нп – Непская); 5–7 – контуры: 5 – антиклинальных складок амплитудой более 100 м, 6 – пологих брахиантиклиналей, антиклиналей и полуантиклиналей (структурных носов), 7 – моноклиналей; 8–9 – разрывные нарушения: 8 – преимущественно взбросо-надвигового типа (бергштрихами показано направление падения плоскостей сместителей), 9 – с неустановленным падением поверхностей; 10–12 – районы распространения структур с галитовыми ядрами: 10 – преимущественно ангарскими, 11 – ангарско-усольскими, 12 – усольскими; 13 – район распространения структур с предполагаемыми гипсоангидритовыми ядрами; 14 – центральный блок КГКМ и отражение Верхнеленского поднятия в виргациях складчатости; 15 – валы и прогибы: а – I – Жигаловский, II – Большеириньский, III – Орлингский, б – 1 – Бурунгино-Береинский прогиб

По нашему мнению, одним из глобальных геологических процессов (с позиции теории нефтидогенеза), определивших процессы миграции и вторичной аккумуляции и сохранения огромных масштабов углеводородных газов [19] в Иркутском нефтегазоносном бассейне (НГБ) была многоэтапная (с нижнего кембрия) тектоническая перестройка. Ангаро-Присяянский раннепалеозойский краевой прогиб опускался интенсивнее, чем Ангаро-

Ленский. Последующее воздымание Иркутского амфитеатра в конце юры также проходило с перекосом – более амплитудным поднятием восточной части амфитеатра относительно погружения его южной и юго-западной в юрское время и отставанием западной области поднятия по амплитуде в последующие эпохи [5, 40].

Кайнозойский этап воздымания усилил тектонический перекосок, что доказано анализом дефор-

сая провинция; 4 – Верхнеленское неотектоническое поднятие; 5 – предполагаемые тектонические нарушения; 6–9 – отложения: 6 – ордовикские терригенно-карбонатные, 7 – кембрийские галогенно-карбонатные, 8 – вендские терригенные, 9 – рифейского комплекса; 10 – фундамент

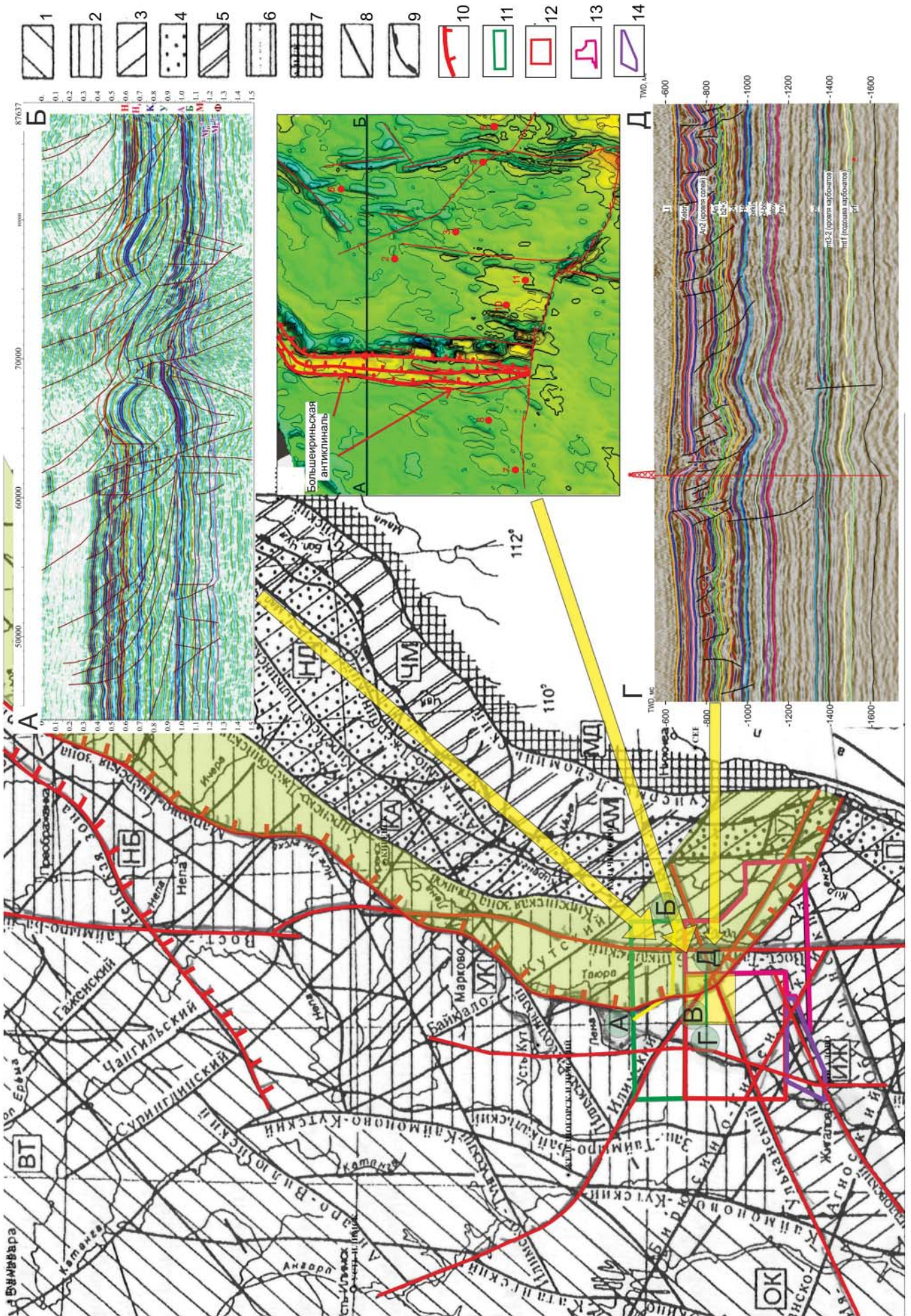




Рис. 8. Детализация внутреннего строения Большеириньского вала как составной части, фрагмента левого южного крыла Марковско-Ичерской надвиговой пластины (В. И. Сизых, М. П. Лобанов, 2004), по новейшим данным сейсморазведки 3D и бурения [5]

1 – западная нефтегазоносная зона (Ангаро-Вилуйская), секторы Окино-Катангский южный (ОК), Вилуйско-Тунгусский северный (ВТ); 2 – центральная нефтегазоносная зона (Непско-Ботуобинско-Бельская), секторы Непско-Ботуобинский северный (НБ), Усть-Кутский центральный (УК), Бельский южный (Б); восточная нефтегазоносная зона (Предсаяно-Предбайкало-Патомская): 3 – платформенный склон, слабо затронутый процессами шарьяжно-надвиговых дислокаций, секторы Иркутско-Жигаловский (ИЖ), Предсаяно-Предбайкало-Предпатомский, состоящий из: 4 – палеопрогибов Присяянского (ПР), Прибайкальского (П), Патомского (ПТ), Нюя-Джербинского (НД), 5 – зоны шарьяжно-надвиговых перекрытий с поднадвиговыми резервуарами углеводородного сырья: Ульканская (У), Актикано-Миньская (АМ), Кутимо-Абчадская (КА), Чуя-Миньская (ЧМ), Ленская (Л); 6–7 – кристаллический фундамент: 6 – шарьированный, вскрытый на краевых поднятиях, 7 – архей-протерозойский, подвергшийся деформированию вплоть до зон смятия метаморфно-метасоматическими процессами (корни шарьяжно-надвиговых ансамблей); 8 – разломы: Главный Саянский (ГС), Ольхонский (О), Мамско-Даванский (МД) – современная граница чехла Сибирской платформы; 10 – система надвиговых дислокаций в осевой части рамповой Большеириньской аллохтонной антиклинали (вала); лицензионные участки: 11 – Южно-Усть-Кутский, 12 – Ковыктинский, 13 – Хандинский, 14 – Чиканский

мации донеогеновой поверхности выравнивания [5, 7, 40]. Сформировалась моноклираль с подъемом в сторону Предбайкальского (Прибайкальского) палеопрогиба, уклон которой, безусловно, повлиял на направленность миграции УВ. Также сформировалась седловина, разделяющая Предпатомский и Предбайкальский палеопрогибы [40]. Это обусловило смену направленности миграции рассеянного ОВ из глубинной зоны интенсивного газообразования в области перикратонного опускания в Прибайкалье [19] в область поднятия.

Таким образом, современная геолого-структурная позиция уникального Ковыктинского ГКМ с сателлитами, как и зоны нефтегазоаккумуляции, которую оно венчает, тектонически обусловлена. В конечной фазе тектоникой сформированы встречные векторы миграционных потоков гигантских объемов рассеянного УВ [19, 30] в область Верхнеленского поднятия с платформенной части АЛС и Ангаро-Присяянского краевого прогиба в природных резервуарах терригенного рифея, венда и карбонатного кембрия, а также из краевых прогибов восточного борта кратона.

Следовательно, Верхнеленское сводовое поднятие есть наиболее крупный структурно-тектонический элемент в пределах АЛС и сопредельных структур с унаследованным с мезозоя (ордовик) докайнозойским положительным трендом блоковых движений фундамента и осадочного чехла [5]. При этом тектонически обусловленными и геодинамически унаследованными являются границы поднятия, которые контролируются магистральными разломами в фундаменте юга кратона (см. рис. 3) Верхнеленского свода и обрамляющих его прогибов (Предбайкальско-Предпатомского, Илимского и Предсаянского). Из сопоставления местоположения глубоких скважин с притоками УВ следует (см. рис. 2), что в контуре Верхнеленского поднятия оказались практически все известные месторождения и скважины с проявлениями УВ (Осинские, Бильчирские и Парфеновские), непромышленные газоконденсатные залежи на Балаганкинской, Христофоровской, Рудовской, Знаменской, Балыхтинской, Осинской, Бильчирской,

Радуйской и Парфеновской площадях, Атовское, Левобережное, Заславское и Тутурское месторождений, включая и крупные предварительно оцененные Ангаро-Ленское, Чиканское и уникальное Ковыктинское ГКМ с сателлитами. Накопленные с 1980-х гг. результаты ГРП, а также новые сейсморазведочные материалы 2D и 3D и данные глубокого бурения за последних 50 лет на АЛС и уникальном Ковыктинском месторождении – все это корректно укладывается в приведенную геолого-структурную модель [1, 8, 21, 44].

По новым данным сейсморазведки прослежена цепочка локальных поднятий фундамента от Ковыктинского месторождения на север, составляющих и продляющих (см. рис. 4) Оолгинский (Иреньский) вал; уточнено строение Таюрской группы поднятий, которая ограничена с востока Хандинским разломом и валом, с запада – Илимской депрессией субмеридионального простираения по кровле фундамента по долине р. Лена.

Северная оконечность этой группы поднятий через седловину соединяется с Усть-Кутским сводом, а южная переходит в Ковыктинский выступ. Весьма показательным, по нашему мнению, является сопоставление контуров Главной пришарнирной зоны нефтегазоаккумуляции (по П. Н. Соболеву и А. В. Мигурскому) Непско-Ботуобинской антеклизы, эволюция и положение которой детально рассмотрены А. В. Мигурским и П. Н. Соболевым [24], с предложенными в настоящей статье контурами Ангаро-Ковыктинской ЗНГН (рис. 5). Очевидно, эта седловина (см. рис. 4) геологически разграничивает Главную пришарнирную [24] и Ангаро-Ковыктинскую ЗНГН.

Восточные ограничения Ковыктинского и Нарьягинского ГКМ и разделяющего их Южно-Усть-Кутского ЛУ в природном резервуаре венда подтверждены сейсморазведкой и бурением [8, 26] в принятых контурах Предпатомского РП. Их геологическая позиция – важный аргумент в пользу предложенных нами границ и локализации Ангаро-Ковыктинской ЗНГН в области современного Верхнеленского мезокайнозойского поднятия (см. рис. 1, 2). Мы полагаем, что зона нефтегазона-

копления пограничная [1]) – в узле сочленения АЛС, Предпатомского и Предбайкальского краевых прогибов [3, 15, 30, 42]. В пользу кайнозоя как конечного этапа эволюции нафтидогенеза свидетельствует наличие ловушек в природных резервуарах автохтона, наиболее изученного глубоким бурением, которые «собирают» миграционные потоки УВ с запада (АЛС) и с востока (Предпатомский РП).

Из рис. 5 следует, что Ангаро-Ковыктинская ЗНГН является продолжением Главной пришарнирной ЗНГН, несмотря на то что эволюция этих зон в геологическом времени протекала по-разному: вторая «застыла» в своем развитии в позднем палеозое (авторы [24] оценили окончательную структурную перестройку как позднегерцинскую); первая активно формировалась в мезозое, кайнозое, вероятно, этот процесс продолжается и на современном этапе.

Другими словами, по данным ГРП последних лет контуры Ангаро-Ковыктинской ЗНГН расширены на восток (за счет юго-западного склона Предпатомского РП в зоне их сочленения), на север (за счет включения Таюрских структур) и на юго-юго-восток до Предбайкальского прогиба и Божеханского вала [16] как юго-восточного ограничения поднятия.

Современное строение Ковыктинского месторождения и сопредельных участков, месторождений и залежей УВ рассматривается нами в двух структурно-тектонических ярусах [1, 2, 17, 20]. Нижний представлен толщей верхнего рифея (рис. 6), несогласно перекрытого отложениями венда (автохтон), и «припаян» [6] к поверхности фундамента. Ортоплатформенные отложения венда, кембрия, ордовика несогласно перекрывают рифейские авлакогеновые толщи [21, 41], и Ковыктинское ГКМ расположено именно над западной границей рифейского палеопргиба-авлакогена (рис. 6, 7), над границей выклинивания толщ верхнего протерозоя – нижнего венда [1]. В этом ярусе (автохтоне) в парфеновском горизонте венда локализованы основные извлекаемые запасы природного газа и газового конденсата месторождения и его сателлитов. Выше по разрезу природные мегарезервуары карбонатного венда и кембрия в аллохтоне осложнены шарьяжно-надвиговой тектоникой, линейной и брахиформной складчатостью [1, 4, 8, 25, 26, 33, 36, 38], менее изучены по керновому материалу, не испытаны на продуктивность в скважинах [1, 8, 6–8, 32, 34, 44], поскольку пока исключены из объектов целенаправленного геологического изучения.

В кайнозое в результате динамического взаимодействия южной части Сибирской платформы и Байкальской горной области возникли условия интенсивного горизонтального сжатия [6, 22]. В этой обстановке развивались процессы выжимания и выдвигания отдельных блоков фундамента. Резкая активизация неотектонических движений привела к значительному (до 1500 м) воздыманию Верхнеленского сводового поднятия [6, 7, 40] и его

дифференциация на отдельные блоки. Наиболее раздробленной в пределах свода оказалась верхняя (надсолевая) часть разреза осадочного чехла. Одновременно с этим формировалась Байкальская раздвиговая впадина – рифтовая зона, в створе которой был создан обширный фронт повышенных тангенциальных напряжений [6, 20, 22].

Тангенциальное давление со стороны Байкальской горной области на положительную краевую структуру обусловило значительное усложнение структуры осадочного чехла и его цоколя – фундамента юго-восточной краевой части платформы [6, 22, 37]. Современное строение ее структурных планов окончательно сформировалось в кайнозое (см. рис. 2, рис. 7) в более активном геодинамическом режиме, чем в сопредельных платформенных структурах, с участием как вертикальных блоковых, так и тангенциальных послойно-поярусных перемещений крупных аллохтонных пластин осадочного чехла в области влияния краевых горно-складчатых сооружений Байкало-Патомского надвигового пояса [22]. Такой режим относят к переходным от активного краевых горно-складчатых областей к спокойным платформенным (эпейрогеническим). В реализации современных напряжений в области сочленения Прибайкальского и Ачиткано-Непского секторов существенное значение придается вертикальным блоковым движениям земной коры [22]. Ковыктинское ГКМ в трактовке А. В. Сметанина увязано с неотектоническим поднятием амплитудой до 1500 м [37, с. 70]. Подобную модель неокайнозойского поднятия (см. рис. 2), контуры которого практически совпадают с таковыми по [46, 47], и близкие по величине амплитуды детально обосновал А. Г. Золотарев [7].

В модель формирования детачмента и крупно-амплитудных по горизонтальному смещению надвигов Байкало-Патомского надвигового пояса [28, 34, 37, 39] логично укладывается и картина виргаций (рис. 8) линейной складчатости [2, 17, 25, 33], по которым выделяется Ковыктинский выступ, т. е. северная часть Верхнеленского свода. Это геологическая модель, на основе которой в 2006 г. сотрудниками СНИИГГиМС выявлено и передано для параметрического бурения Чайкинское куполовидное поднятие [33, 38].

Виргации, изменение направления простираения главных осей линейной складчатости в зоне сочленения Жигаловского и Хандинского валов могут быть геологическим аргументом «клавишного», поэтапного воздымания отдельных блоков от Ковыктинского выступа на юг и развитием (проградацией) линейной аллохтонной складчатости в несколько этапов. Жигаловский и Хандинский валы по сравнению с известными линейными структурами соляной складчатости [4] наиболее разрушены в осевых частях и к новейшему времени деградировали.

Аллохтонная складчатость более молодая, предположительно наложенная на структурный



план, сформированный на рубеже силура – девона, ярко проявлена в отдельных свитах (усольской и ангарской на КГКМ). В качестве примера приведем детализацию строения Большеирииньского аллохтонного вала как рампового ограничения внутрислоевой надвиговой системы – дуплекса [2] (см. рис. 8), сформированного в области изменения вектора напряжений с юго-восточного на северное и северо-западное в левом крыле Марковско-Ичерской надвиговой пластины Ажиткано-Непского сектора Байкало-Патомского надвигового пояса (по новейшим данным сейсморазведки 3D).

Выводы

Основываясь на результатах ГРП последних лет, авторы пришли к выводу, что контуры продуктивности КГКМ по парфеновскому горизонту венда следует расширить в области южного замыкания Предпатомского РП на Ковыктинском, Хандинском, Чиканском и Южно-Усть-Кутском ЛУ, а гипсометрические отметки резервуара месторождения растут (по кровле горизонта) в юго-восточном направлении в сторону наиболее приподнятой области Верхнеленского поднятия.

Кроме того, следует акцентировать внимание на следующем.

1. Положение Ангаро-Ковыктинской ЗНГН в области современного кайнозойского Верхнеленского сводового поднятия – одного из трех крупнейших в Лено-Тунгусской провинции (наряду с Чайкинско-Чоно-Пеледуйским и Юрубчено-Тохомским сводами) – с мезозоя [10] является определяющим геолого-структурным фактором миграции, аккумуляции и локализации газоконденсатных ресурсов УВ. Границы сложной Ангаро-Ковыктинской ЗНГН контролируются контурами Верхнеленского свода. Она локализована в зоне сочленения двух крупнейших тектонических структур юга Сибирской платформы – АЛС и Предбайкало-Предпатомского РП. Окончательное формирование современного строения ее структурных планов происходило в кайнозое (см. рис. 2, 3, 6) в более активном геодинамическом режиме в сравнении с платформенным. Это способствовало активизации как вертикальных блоковых, так и тангенциальных послойно-поярусных перемещений крупных аллохтонных пластин осадочного чехла в зоне динамического воздействия Байкало-Патомского надвигового пояса.

2. Моноклиальный склон АЛС от Ангарских структур, до Ковыктинского выступа [30, 42], на котором в течение почти 70 лет проводятся основные ГРП на УВ сырьё, является только частью гигантского сводового поднятия. Унаследованное поднятие с нижнего палеозоя и до современного времени сформировало «перекося» ложа и осадочного чехла платформенной части амфитеатра. Это явление сопровождалась неравномерными субвертикальными движениями Ангаро-Ленского и Ангаро-Саянского краевых прогибов в результате различных по ампли-

туде тектонических движений. Наличие экранирующих литологических и тектонических ограничений поднятия с юга и юго-востока может быть выявлено по результатам ГРП. Изложенное в настоящей статье представление о едином гигантском Верхнеленском сводовом поднятии в Иркутском НГБ не только коренным образом меняет наше представление о геологической модели уникального Ковыктинского ГКМ, но и дает принципиально новое структурно-геологически обоснованное представление о контурах Ангаро-Ковыктинской ЗНГН.

3. Локализация газоконденсатного месторождения-гиганта в зоне сочленения двух региональных геологических структур (и двух НГО – типично платформенной и перикратонной) – веское основание для пересмотра геологической модели формирования структурного плана природных резервуаров, процессов миграции и аккумуляции сухого газа [19] и их заполнения газоконденсатными пластовыми углеводородными системами на заключительном кайнозойском этапе переформирования залежей УВ [11, 43]. Анализ материалов ГРП по КГКМ и смежным площадям (Ангаро-Ленской, Нарьягинской, Южно-Усть-Кутской, Ульканской, Нотайской, Чиканской, Тутурской, Рудовской, Знаменской, Христофоровской (Северо-Куленгской) и др.) позволяют утверждать, что перспективы нефтегазонасыщенности Ковыктинской ЗНГН связаны с тремя природными мегарезервуарами: 1) рифейским (нижневендским), 2) верхневендским терригенным и карбонатным (автохтон), 3) кембрийским карбонатным (аллохтон). Распределение пустотного пространства в каждом из этих мегарезервуаров подчинено своей геологической природе и также развивалось многоэтапно [10, 11, 26, 30, 35, 45]. Картирование распределения проницаемых резервуаров нефти и газа в разрезе требует постановки работ по геологическому изучению территории юго-восточной части поднятия сейсморазведочными работами и бурением. Природные мегарезервуары карбонатного венда и кембрия в аллохтоне осложнены шарьяжно-надвиговой тектоникой, линейной и брахиформной складчатостью, менее охарактеризованы керновым материалом, специальными исследованиями и испытанием скважин, поскольку пока исключены из объектов целенаправленного геологического изучения. Полагаем, что при сохранении темпов ГРП в парфеновском продуктивном горизонте терригенного венда следует сформировать дополнительную программу ГРП по экстенсивной подготовке ресурсной базы УВ в выше- (карбонатный венд, кембрий) и нижележащих (боханский, базальный, трещинные резервуары рифея) нефтегазоносных комплексах разреза осадочного чехла.

4. На геологическое изучение и поиски газоконденсатных залежей и месторождений перспективны территории в пределах общей структуры неотектонического Верхнеленского свода, основного положительного структурного элемента Анга-



ро-Ленской ступени. Они включают как восточные относительно КГКМ области поднятия в пределах Карамской и Куленгской седловин, так и западные борты южной части Предпатомского осадочного бассейна [30] – Казачинской депрессии Предпатомского регионального прогиба [26]. Здесь на Южно-Усть-Кутском ЛУ в первой поисковой скважине (2019 г.) по результатам ГДК-ОПК, а также испытания под защитой обсадной колонны получено подтверждение о газовом насыщении целевого интервала разреза.

Поисково-разведочные работы на УВ сырье в южной части Верхнеленского поднятия в области Куленгской седловины, Ахинского и Божеханского валов, где бурение проектировалось на основе 6-кратного МОВ, КМПВ, заморожены более чем полвека назад. Однако новые данные ГРП в северной части поднятия и фондовые материалы однозначно указывают на высокие перспективы открытия в юго-западной части Верхнеленского свода значительных по масштабам скоплений УВ в автохтоне и в аллохтоне.

В настоящей статье авторы развивают методологию геологического изучения краевых прогибов юга Сибирской платформы и зон их сочленения с платформенными структурами и НГО, которая доложена ранее [3, 9, 26, 37, 44 и др.] на выездной комиссии Роснедр по рассмотрению пятилетних планов работ по геологическому изучению территорий России и Арктического шельфа на нефть и газ в 2015, 2016 гг. в Иркутске и Красноярске, на выездных заседаниях газовой комиссии ПАО «Газпром» по рассмотрению планов работ по геологическому изучению недр в 2015–2019 гг.

Сегодня, оглядываясь назад, нам хотелось бы подчеркнуть тот колоссальный вклад, который внесли иркутские геологи, геофизики и буровики в организацию геолого-разведочных работ на Ковыктинском месторождении. Именно Именно Сергей Сергеевич Перов, Борис Леонидович Рыбьяков и Марк Мионович Мандельбаум, активно поддержав Геннадия Яковлевича Шутова в обосновании перспектив нефтегазоносности крупного Верхнеленского поднятия, вопреки мнению многих специалистов-скептиков смогли реализовать решение о проведении сейсморазведочных работ и пионерного бурения. Организация бурения первых скважин (270, 281) была выполнена под руководством начальника Криволукской нефтегазоразведочной экспедиции Павла Андреевича Оскорбина, главного инженера Геннадия Петровича Черенцова, главного геолога Александра Михайловича Панькова. Именно они вместе с большим производственным коллективом «подняли» невероятно тяжелый стартовый этап работ на месторождении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Выявление** и картирование флюидонасыщенных анизотропных каверново-трещинных коллекторов Ковыктинского газоконденсатного место-

рождения / А. С. Смирнов, А. Г. Вахромеев, А. Р. Курчиков и др. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 5 (329). – С. 412.

2. **Гайдук В. В., Прокопьев А. В.** Методы изучения складчато-надвиговых поясов. – Новосибирск: Наука, 1999. – 160 с.

3. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.

4. **Дубровин М. А.** Соляная тектоника Верхнеленской впадины Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1979. – 95 с.

5. **Жарков М. А., Замараев С. М.** История тектонического развития юга Сибирской платформы // Вопросы сравнительной тектоники древних платформ. – М.: Наука, 1964. – С. 135–145.

6. **Замараев С. М.** Краевые структуры южной части Сибирской платформы. – М.: Наука, 1967. – 247 с.

7. **Золотарев А. Г.** Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. – Новосибирск: Наука, 1974. – 120 с.

8. **Интеграция** геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения / А. С. Смирнов, И. В. Горлов, Н. Н. Яицкий и др. // Геология нефти и газа. – 2016. – № 2. – С. 56–66.

9. **Карта** глубинного строения: карта дифференцированного гранитно-метаморфического слоя (по поверхности кристаллического фундамента). Масштаб 1:1 000 000. N-48 (Иркутск) / ВСЕГЕИ, Иркутск-геофизика, ИГЭ; сост. А. Г. Пашкова. – Иркутск, 2010.

10. **Карта** новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. Масштаб 1:2500 000 / под ред. В. В. Гребенюка, М. П. Гришина, Ф. Г. Гурари и др.). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1978.

11. **Карта** новейшей тектоники юга Восточной Сибири. Масштаб: 1:1 500 000 / ВостСибНИИГГиМС, ИГУ, Аэрогеология; ред. А. Г. Золотарев, П. М. Хренов, отв. исп. В. М. Белоусов. – М., 1981. – 4 л.

12. **Комплексная** характеристика и количественная оценка перспектив нефтегазоносности региональных резервуаров нефти и газа верхневендско-нижнекембрийского аллохтонного карбонатного макрокомплекса Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) / Г. Г. Шемин, А. В. Мигурский, М. Ю. Смирнов и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 1 (33). – С. 33–55.

13. **Конторович А. Э.** Состояние, перспективы и проблемы развития нефтегазового и угольного комплексов Сибири в ближайшие десятилетия // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 4. – С. 3–13.

14. **Конторович А. Э., Мельников Н. В., Старосельцев В. С.** Нефтегазоносные провинции и области Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность Сибирской платформы. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1975. – С. 4–21.



15. **Конторович А. Э., Рыбьяков Б. Л., Самсонов В. В.** Перспективы нефтегазоносности западного участка БАМа // Советская геология. – 1985. – № 10. – С. 8–14.
16. **Королюк И. К.** Особенности строения валов южной части Прибайкалья на примере Божеханского поднятия // Тектоника нефтегазоносных областей Сибири. – М.: Наука, 1967. – С. 60–70.
17. **Ларионова Т. И.** Признаки перспективности участков скопления углеводородов в аллохтоне складчато-надвиговых территорий // Геология, тектоника, металлогения Северо-Азиатского кратона: матер. Всерос. науч. конф. Т. 1. – Якутск: СВФУ, 2011. – С. 59–62.
18. **Леви К. Г., Кульчицкий А. А.** Поверхности выравнивания северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны // Рельеф и четвертичные отложения Станового нагорья. – М.: Наука, 1981. – С. 19–35.
19. **Лено-Тунгусская** провинция – перспективный регион для создания новой базы добычи нефти и газа на Востоке СССР / А. Э. Конторович, М. М. Мандельбаум, В. С. Сурков и др. // Геология и геофизика. – 1986. – № 1. – С. 3–14.
20. **Логачев Н. А.** История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. – 2003 – Т. 44, № 5. – С. 391–406.
21. **Лукинов В. И.** Авлакогены Сибирской платформы // Критерии оценки перспектив нефтегазоносности и направления геолого-разведочных работ на Сибирской платформе. – М.: ВНИГНИ, 1988. – С. 56–66.
22. **Мазукабзов А. М.** Структура и геодинамика южной окраины Сибирского кратона: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Иркутск, 2003. – 33 с.
23. **Мельников Н. В., Мельников П. Н., Смирнов Е. В.** Зоны нефтегазонакопления в районах проведения геолого-разведочных работ Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 8. – С. 1151–1163.
24. **Мигурский А. В., Соболев П. Н.** Эволюция зон нефтегазонакопления в Непско-Ботуобинской антеклизе в фанерозое // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – 2016. – № 2. – С. 27–40.
25. **Мигурский А. В., Ефимов А. С., Старосельцев В. С.** Новые направления нефтегазопроисловых работ в Предпатомском региональном прогибе (Сибирская платформа) // Геология нефти и газа. – 2012. – № 1. – С. 19–27.
26. **Модели** строения и количественная оценка перспектив нефтегазоносности региональных резервуаров нефти и газа Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) / под ред. Г. Г. Шемина. – Новосибирск: Гео, 2017. – 560 с.
27. **Неотектонический** этап активизации краевой области Сибирского кратона как конечная фаза формирования Ковыктинской зоны нефтегазонакопления / А. Г. Вахромеев, И. В. Горлов, А. С. Смирнов и др. // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): матер. совещ. Вып. 15. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2017. – С. 26–29.
28. **Нефтегазоносность** рифейских и вендских осадочных толщ Сибирской платформы / В. Е. Бакин, В. Н. Воробьев, В. М. Евтушенко и др. // Нефтегазоносность Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1981. – С. 25–42.
29. **Нефтегазоносные** бассейны и регионы Сибири. Вып. 7. Непско-Ботуобинский регион / А. Э. Конторович, В. С. Сурков, А. А. Трофимук. – Новосибирск, 1994. – 76 с.
30. **Нефтегазоносные** бассейны и регионы Сибири. Вып. 8. Иркутский бассейн / А. Э. Конторович, Н. В. Мельников, В. Н. Воробьев и др. – Новосибирск, 1995. – 59 с.
31. **Новейшая** тектоника (неотектоника) Байкальского региона // Атлас «Байкал». Новейшая тектоника. Масштаб: 1:4 000 000 / ред. Г. И. Галазий. – М., 1993. – 160 с.
32. **Новые** газоперспективные объекты в кембрийских отложениях Ковыктинского ГКМ / И. В. Горлов, А. С. Смирнов, С. Ф. Игнатъев и др. // тез. докл. Междунар. конф. «ЕАГО GeoBaikal 2016». – Иркутск, 2016. – DOI: 10.3997/2214–4609.201601706
33. **Опыт** изучения Чайкинского поднятия – крупного объекта нефтепоисковых работ на Сибирской платформе / А. В. Мигурский, В. С. Старосельцев, Н. В. Мельников и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 4. – С. 14–25.
34. **Предпосылки** локализации и перспективы газоносности сложнопостроенных залежей УВ в венд-кембрийских отложениях юга Сибирской платформы (на примере Ковыктинского ГКМ) / И. В. Горлов, Н. В. Мисюркеева, А. Г. Вахромеев и др. – СПб., 2018. – DOI: 10.3997/2214–4609.201800223.
35. **Самсонов В. В., Ларичев А. И.** Перспективные нефтегазоносные комплексы и зоны южной части Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – № 3. – С. 1–28.
36. **Сизых В. И.** Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 154 с.
37. **Сметанин А. В.** Опыт динамической интерпретации гравитационных аномалий. – Иркутск, 2000. – 85 с.
38. **Старосельцев В. С.** Актуальные проблемы тектоники нефтегазоперспективных регионов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 212 с.
39. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н. В. Мельников, М. С. Якшин, Б. Б. Шишкин и др. – Новосибирск: Гео, 2005. – 428 с.
40. **Структура** и история развития Предбайкальского предгорного прогиба / С. М. Замараев, О. М. Адаменко, Г. В. Рязанов и др. – М.: Наука, 1976. – 136 с.
41. **Сурков В. С.** Лено-Тунгусский рифей-палеозойский бассейн // Геология нефти и газа. – 1998. – № 10. – С. 33–36.



42. **Тектоническая** карта нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. Масштаб 1:5 000 000 / В. С. Старосельцев, Н. В. Мельников, М. П. Гришин и др. – Новосибирск: СНИИГиМС, 2012.

43. **Уточнение** геологического строения Ковыктинского ГКМ на основе выполненных газоконденсатных исследований / Я. В. Бельтиков, И. В. Горлов, П. Н. Кокарев, А. Н. Ларионова // Тез. докл. Междунар. конф. «ЕАГО ГеоBaikal 2016». – Иркутск, 2016. – DOI: 10.3997/2214-4609.201601716.

44. **Уточнение** геологической модели восточной части Ковыктинского ГКМ с учетом новых геолого-геофизических данных / И. В. Горлов, А. С. Смирнов, Н. В. Мисюркеева и др. // ЕАГО – ГеоBaikal-2018. – DOI: 10.3997/2214-4609.201802059.

45. **Филипцов Ю. А., Старосельцев В. С.** Рифейские прогибы – основные источники нефти и газа в западной части Сибирской платформы // Геология нефти и газа. – 2009. – № 6. – С. 40–56.

46. **Флоренсов Н. А., Логачев Н. А., Кузнецов М. Ф.** Неотектоническая карта юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1 000 000 // Атлас Иркутской области. – М.; Иркутск, 1962. – С. 22–23.

47. **Шутов Г. Я.** Верхнеленское сводовое поднятие – новый перспективный объект для поисков залежей газа в Ангаро-Ленской НГО // Геология нефти и газа. – 1987. – № 1. – С. 5–9.

REFERENCES

1. Smirnov A.S., Vakhromeev A.G., Kurchikov A.R., et al. [Identification and mapping of fluid-saturated anisotropic cavernous-fractured reservoirs of the Kovyktinskoye gas condensate field]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics, and Oil and Gas Field Development*, 2019, no. 5 (329), pp. 4–12. (In Russ.).
2. Gayduk V.V., Prokopyev A.V. *Metody izucheniya skladchato-nadvigovykh pojasov* [Methods for studying fold-thrust belts]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999. 160 p. (In Russ.).
3. Kontorovich A.E., Surkov V.S., Trofimuk A.A., eds. *Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platformy* [Geology of oil and gas of the Siberian platform]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 552 p. (In Russ.).
4. Dubrovin M.A. *Solyanaya tektonika Verkhne-Lenskoy vpadiny Sibirskoy platformy* [Salt tectonics of the Upper Lena Depression of the Siberian Platform]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 95 p. (In Russ.).
5. Zharkov M.A., Zamaraev S.M. [The history of tectonic development of the south of the Siberian platform]. *Voprosy sravnitel'noy tektoniki drevnikh platform* [Problems of the comparative tectonics of ancient platforms]. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 135–145. (In Russ.).
6. Zamaraev S.M. *Kraevye struktury yuzhnoy chasti Sibirskoy platformy* [Margin structures of the southern part of the Siberian platform]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 247 p. (In Russ.).
7. Zolotarev A.G. *Relyef i noveyshaya struktura Baykalo-Patomskogo nagorya* [Relief and the youngest structure of the Baikal-Patom Highlands]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. 120 p. (In Russ.).
8. Smirnov A.S., Gorlov I.V., Yaitskiy N.N., et al. [Integration of geological and geophysical data – the path to creating a reliable model of the Kovyktinskoye gas condensate field]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and gas geology*, 2016, no. 2, pp. 56–66. (In Russ.).
9. Pashkova A.G. *Karta glubinnogo stroeniya: karta differentsirovannogo granitno-metamorficheskogo sloya (po poverkhnosti kristallicheskogo fundamenta) masshtaba 1: 1000 000. N-48 (Irkutsk)*. [Map of the deep structure: map of the differentiated granite-metamorphic layer (on the surface of the crystalline basement) at a scale of 1: 1,000,000. N-48 (Irkutsk)]. (In Russ.).
10. Grebenyuk V.V., Grishin M.P., et al., eds. *Karta noveyshey tektoniki neftegazonosnykh oblastey Sibiri. Masshtab 1:2500 000*. [Map of the latest tectonics of oil and gas regions of Siberia. Scale 1: 2,500,000]. Novosibirsk, 1978. (In Russ.).
11. Zolotarev A.G., Khrenov P.M., eds. *Karta noveyshey tektoniki yuga Vostochnoy Sibiri. Masshtab: 1: 1 500 000*. [Map of the latest tectonics of the south of Eastern Siberia. Scale: 1: 1,500,000]. Moscow, 1981. 4 sheets. (In Russ.).
12. Shemin G.G., Migurskiy A.V., Smirnov M.Yu., et al. [A comprehensive characteristics and quantitative assessment of prospects the petroleum content in the regional oil and gas reservoirs of the Upper Vendian – Lower Cambrian allochthonous carbon-bearing macrocomplex at the Predpatom regional trough (Siberian platform)]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2018, no. 1 (33), pp. 33–55. (In Russ.).
13. Kontorovich A.E. [The state, prospects and problems of the development of oil and gas and coal complexes of Siberia in the coming decades]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2010, no. 4, pp. 3–13. (In Russ.).
14. Kontorovich A.E., Melnikov N.V., Staroseltsev V.S. [Oil and gas provinces and areas of the Siberian platform]. *Geologiya i neftegazonosnost' Sibirskoy platformy* [Geology and oil and gas potential of the Siberian platform]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 1975, pp. 4–21. (In Russ.).
15. Kontorovich A.E., Rybyakov B.L., Samsonov V.V. [Prospects for oil and gas potential of the western part of BAM]. *Sovetskaya geologiya – Soviet geology*, 1985, no. 10, pp. 8–14. (In Russ.).
16. Korolyuk I.K. [Structural features of swells in the south of the Baikal Region on the example of the Bozhekhan Uplift]. *Tektonika neftegazonosnykh oblastey Sibiri* [Tectonics of the oil and gas-bearing regions of Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 60–70. (In Russ.).
17. Larionova T.I. [Signs of the prospectivity of hydrocarbon accumulation zones in the allochthon of the folded-thrust territories]. *Geologiya, tektonika, metallogeniya Severo-Aziatskogo kratona: Mater. Vserossiyskoy*



nauchnoy konferentsii [Geology, Tectonics, Metallogeny of the North Asian Craton: Materials of the All-Russian Scientific Conference]. Vol. 1. – Yakutsk, SVFU Publ., 2011, pp. 59–62. (In Russ.).

18. Levi K.G., Kulchitskiy A.A. [Leveling surfaces of the north-eastern part of the Baikal rift zone]. *Relyef i chetvertichnye otlozheniya Stanovogo nagorya* [Relief and Quaternary deposits of the Stanovoi Upland]. Moscow, Nauka Publ., 1981, pp. 19–35. (In Russ.).

19. Kontorovich A.E., Mandelbaum M.M., Surkov V.S., et al. [Lena-Tunguska Province – a promising region for creating a new base for oil and gas production in the East of the USSR]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1986, no. 1, pp. 3–14. (In Russ.).

20. Logachev N.A. History and geodynamics of the Baikal rift. *Russian Geology and geophysics*, 2003, vol. 44, no. 5, pp. 391–406.

21. Lukinov V.I. [Avlakogens of the Siberian platform]. *Kriterii otsenki perspektiv neftegazonosnosti i napravleniya geologo-razvedochnykh rabot na Sibirskoy platforme* [Criteria for assessing the prospects of oil and gas potential and the direction of exploration on the Siberian platform]. Moscow, VNIGNI Publ., 1988, pp. 56–66. (In Russ.).

22. Mazukabzov A.M. *Struktura i geodinamika yuzhnoy okrainy Sibirskogo kratona. Avtoref. diss. ... d. geol.-min. nauk* [Structure and geodynamics of the southern outskirts of the Siberian craton. Author's abstract of the DSc thesis]. Irkutsk, 2003. 33 p. (In Russ.).

23. Melnikov N.V., Melnikov P.N., Smirnov E.V. The petroleum accumulation zones in the geological-prospecting regions of the Lena-Tunguska province. *Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 8, pp. 906–916.

24. Migurskiy A.V., Sobolev P.N. [Evolution of oil and gas accumulation zones in the Nepa-Botuoba antecline during the Phanerozoic]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2016, no. 2, pp. 27–40. (In Russ.).

25. Migurskiy A.V., Yefimov A.S., Staroseltsev V.S. [New directions of oil and gas exploration in the Predpatom regional trough (Siberian Platform)]. *Geologiya nefiti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2012, no. 1, pp. 19–27. (In Russ.).

26. Shemin G.G., ed. *Modeli stroeniya i kolichestvennaya otsenka perspektiv neftegazonosnosti regional'nykh rezervuarov nefiti i gaza Predpatomskogo regional'nogo progiba (Sibirskaya platforma)* [Structural models and a quantitative assessment of the oil and gas prospects of regional oil and gas reservoirs of the Predpatom regional trough (Siberian Platform)]. Novosibirsk, GEO Publ., 2017. 560 p. (In Russ.).

27. Vakhromeev A.G., Gorlov I.V., Smirnov A.S., et al. [Neotectonic stage of activation of the marginal region of the Siberian craton as the final phase of the formation of the Kovyktinskoye oil and gas accumulation zone]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): materialy soveshchaniya. Vyp. 15* [Geo-

dynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from the ocean to the continent): proceedings of the meeting. Vol. 15. Irkutsk, Institute of the Earth's crust]. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust Publ., 2017, pp. 26–29. (In Russ.).

28. Bakin V.E., Vorobyev V.N., Evtushenko V.M., et al. [Oil and gas potential of the Riphean and Vendian sedimentary strata of the Siberian Platform]. *Neftegazonosnost' Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Oil and gas potential of Siberia and the Far East]. Novosibirsk, 1981, pp. 25–42. (In Russ.).

29. Kontorovich A.E., Surkov V.S., Trofimuk A.A., et al. *Neftegazonosnye basseyny i regiony Sibiri. Nepsko-Botuobinskiy region* [Oil and gas basins and regions of Siberia. No. 7. Nepa-Botuoba Region]. Novosibirsk, 1994. 76 p. (In Russ.).

30. Kontorovich A.E., Melnikov N.V., Vorobyev V.N., et al. *Neftegazonosnye basseyny i regiony Sibiri. Irkutskiy basseyn* [Oil and gas basins and regions of Siberia. No. 8. Irkutsk Basin]. Novosibirsk, 1995. 59 p. (In Russ.).

31. Galaziy G.I., ed. *Noveyshaya tektonika (neotektonika) Baykal'skogo regiona. Atlas «Baykal»*. Masshtab: 1:4 000 000. [The latest tectonics (neotectonics) of the Baikal region. Atlas «Baikal». The latest tectonics. Scale: 1: 4,000,000]. Moscow, 1993. 160 p. (In Russ.).

32. Gorlov I.V., Smirnov A.S., Ignatyev S.F., et al. *Novye gazoperspektivnye ob'ekty v kembriyskikh otlozheniyakh Kovyktinskogo GKM* [New gas-promising objects in the Cambrian deposits of the Kovyktinskoye gas condensate field]. EAGE – GeoBaikal 2016. Irkutsk. DOI: 10.3997/2214–4609.201601706.

33. Migurskiy A.V., Staroseltsev V.S., Melnikov N.V., et al. [Experience of the Chaikinskoye uplift study – the major object of petroleum exploration on the Siberian Platform]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*. Novosibirsk, 2010, no. 4, pp. 14–25. (In Russ.).

34. Gorlov I.V., Misyurkeeva N.V., Vakhromeev A.G., et al. [Localization and Prospects of Complex Hydrocarbon Gas Deposits in the Vendian-Cambrian Sediments of the South of the Siberian Craton (Kovykta Gas Condensate Field)]. *EAGE – GeoBaikal-2018*. DOI: 10.3997/2214–4609.201800223S. (In Russ.).

35. Samsonov V.V., Larichev A.I. [Promising oil and gas complexes and zones of the southern part of the Siberian platform]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2008, no. 3, pp. 1–28. (In Russ.).

36. Szykh V.I. *Shar'yazhno-nadvigovaya tektonika okrain drevnikh platform* [Overthrust tectonics of the outskirts of ancient platforms]. Novosibirsk, SB RAS Publ., GEO Branch, 2001. 154 p. (In Russ.).

37. Smetanin A.V. *Opyt dinamicheskoy interpretatsii gravitatsionnykh anomalii* [Experience of the dynamic interpretation of gravitational anomalies]. Irkutsk, 2000. 85 p. (In Russ.).

38. Staroseltsev V.S. *Aktual'nye problemy tektoniki neftegazoperspektivnykh regionov* [Actual problems of



tectonics of oil and gas promising regions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 212 p. (In Russ.).

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

40. Zamaraev S.M., Adamenko O.M., Ryazanov G.V., et al. *Struktura i istoriya razvitiya Predbaykal'skogo predgornogo progiba* [The structure and history of the development of the Cis-Baikal submontane trough]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 136 p. (In Russ.).

41. Surkov V.S. [Lena-Tunguska Riphean-Paleozoic basin]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 1998, no. 10, pp. 33–36. (In Russ.).

42. Staroseltsev V.S., Melnikov N.V., Grishin M.P., et al. *Tektonicheskaya karta neftegazonosnykh provinetsiy Sibirskoy platformy. M: 1:5000 000* [Tectonic map of oil and gas provinces of the Siberian platform. Scale 1: 5,000,000]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2012. (In Russ.).

43. Beltikov Ya.V., Gorlov I.V., Kokarev P.N., Larionova A.N. *Utochnenie geologicheskogo stroeniya*

Kovyktinskogo GKM na osnove vypolnennykh gazokondensatnykh issledovaniy [Clarification of the geological structure of the Kovyktinskoye gas condensate field based on gas condensate studies]. *EAGE – GeoBaikal 2016*. Irkutsk. DOI: 10.3997/2214–4609.201601716.

44. Gorlov I.V., Misyurkeeva N.V., Buddo I.V., et al. *Utochnenie geologicheskoy modeli vostochnoy chasti Kovyktinskogo GKM s uchetom novykh geologo-geofizicheskikh dannyykh* [Improvement of the Eastern Part of the Kovykta Gas Condensate Field Geological Model in the Light of the New Geological and Geophysical Data]. *EAGE – GeoBaikal-2018*. DOI: 10.3997/2214–4609.201802059.

45. Filiptsov Yu.A., Staroseltsev V.S. [Riphean troughs – the main sources of oil and gas in the western part of the Siberian Platform]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2009, no. 6, pp. 40–56. (In Russ.).

46. Florensov N.A., Logachev N.A., Kuznetsov M.F. *Neotektonicheskaya karta yuga Vostochnoy Sibiri. M-b 1:4000 000. Atlas Irkutskoy oblasti* [Neotectonic map of the south of East Siberia. Scale 1:4 000 000. Atlas of the Irkutsk Region]. Moscow-Irkutsk, GUGK USSR Publ., 1962, pp. 22–23. (In Russ.).

47. Shutov G. Ya. [Upper-Lena arched uplift – a new promising target to prospect for gas pools in the Angara-Lena PR]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 1987, no. 1, pp. 5–9. (In Russ.).

© А. Г. Вахромеев, А. С. Смирнов,
А. М. Мазукабзов, И. В. Горлов, Н. В. Мисюркеева
Г. Я. Шутов, В. В. Огибенин, 2019



ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗАБАЙКАЛЯ В СТВОРЕ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 1-СБ «ВОСТОЧНЫЙ» ПО ДАННЫМ РАЗНОПОЛЯРИЗОВАННЫХ P- И S-ВОЛН

В. М. Соловьев¹, Н. А. Галёва¹, А. С. Сальников², В. С. Селезнев³, А. В. Лисейкин³,
Т. В. Кашубина⁴, Д. В. Вяткина⁴

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

Представлены результаты глубинных сейсмических исследований по данным P-и S-волн на опорном 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ «Восточный» в Забайкалье. Построены глубинные сейсмические разрезы с распределением скоростей продольных и поперечных волн в земной коре и по поверхности Мохоровичича. Эта граница расположена на глубинах 40–48 км, граничная скорость P-волн вдоль нее существенно меняется – от 7,9 до 8,5 км/с; по данным S-волн она равна 4,6–4,9 км/с. Скорости P- и S-волн в земной коре составляют 6,4–6,5 и 3,65–3,75 км/с соответственно. Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по соотношению скоростей P- и S-волн и коэффициенту Пуассона. Подтверждены выявленные ранее на профиле 3-ДВ корреляции по приуроченности ряда рудных месторождений к зонам пониженных отношений скоростей P- и S-волн и коэффициента Пуассона в верхней части земной коры.

Ключевые слова: профиль ГСЗ, продольные и поперечные волны, скорости P- и S-волн и их отношения, глубинный сейсмический разрез, земная кора, граница М, минерогенетическая зона.

PECULIARITIES OF THE TRANSBAIKAL SEISMIC STRUCTURE AT THE SITE OF THE BASE LINE 1-SB VOSTOCHNY ON DATA OF DIFFERENTLY POLARIZED P- AND S-WAVES

V. M. Solovyev¹, N. A. Galyova¹, A. S. Salnikov², V. S. Seleznev³, A. V. Liseykin³,
T. V. Kashubina⁴, D. V. Vyatkina⁴

¹Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; ²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; ³Altai-Sayan Regional Seismological Center, Geophysical Service SB RAS, Novosibirsk, Russia; ⁴A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Results of deep seismic studies of the P- and S-wave data on the 1,200-km base geophysical line 1-SB Vostochny in Transbaikal are presented. Deep seismic sections showing distribution of longitudinal and transverse velocities in the Earth's crust and on the Moho are constructed. The M boundary is located at depths of 40–48 km, the boundary velocity of P-waves varies greatly along it and is 7.9–8.5 km/s. According to S-wave data, it is 4.6–4.9 km/s. The velocities of the P- and S-waves in the Earth's crust are 6.4–6.5 and 3.65–3.75 km/s, respectively. An inhomogeneous structure of the upper Earth's crust down to depths of 15–20 km has been established by the P- and S-velocity relationship and Poisson's ratio. The correlations identified earlier on the 3-DV line have been confirmed by the confinement of a number of ore deposits to zones of reduced P- and S-velocity relationships and Poisson's ratios in the upper Earth's crust.

Keywords: DSS line, longitudinal and transverse waves, P- and S-velocities, velocity relationships, deep seismic section, Earth's crust, Moho boundary, minerogenetic zone.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-57-71

Площадь исследований в Забайкалье находится в пределах крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса [3]. Сейсмическими методами наиболее изучены ее западная и северо-западная части в пределах Байкальской рифтовой зоны [8, 10, 15], восточная часть изучена слабо [10, 15]. В 2014–2015 гг. на этой территории по заказу Федерального агентства по недропользованию были выполнены комплексные (методы ОГТ, КМПВ, ГСЗ, МТЗ и др.) геолого-геофизические исследования на опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ «Восточный» (рис. 1), направленные на изучение крупных металлогенетических провинций Восточного Забайкалья, оценку общего ресурсного потенциала, а также на обоснование долгосрочных и краткосрочных про-

грамм по оценке минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов и системное обновление фундаментальной геолого-геофизической информации о строении и динамике недр [7].

В статье представлены результаты этих исследований. Протяженность профиля свыше 1200 км. По данным разнополяризованных P- и S-волн в его створе освещены особенности глубинного строения крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Экспериментальный материал

Работы ГСЗ на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах (см. рис. 1) указанного профиля выполнялись по методике точечных диффе-

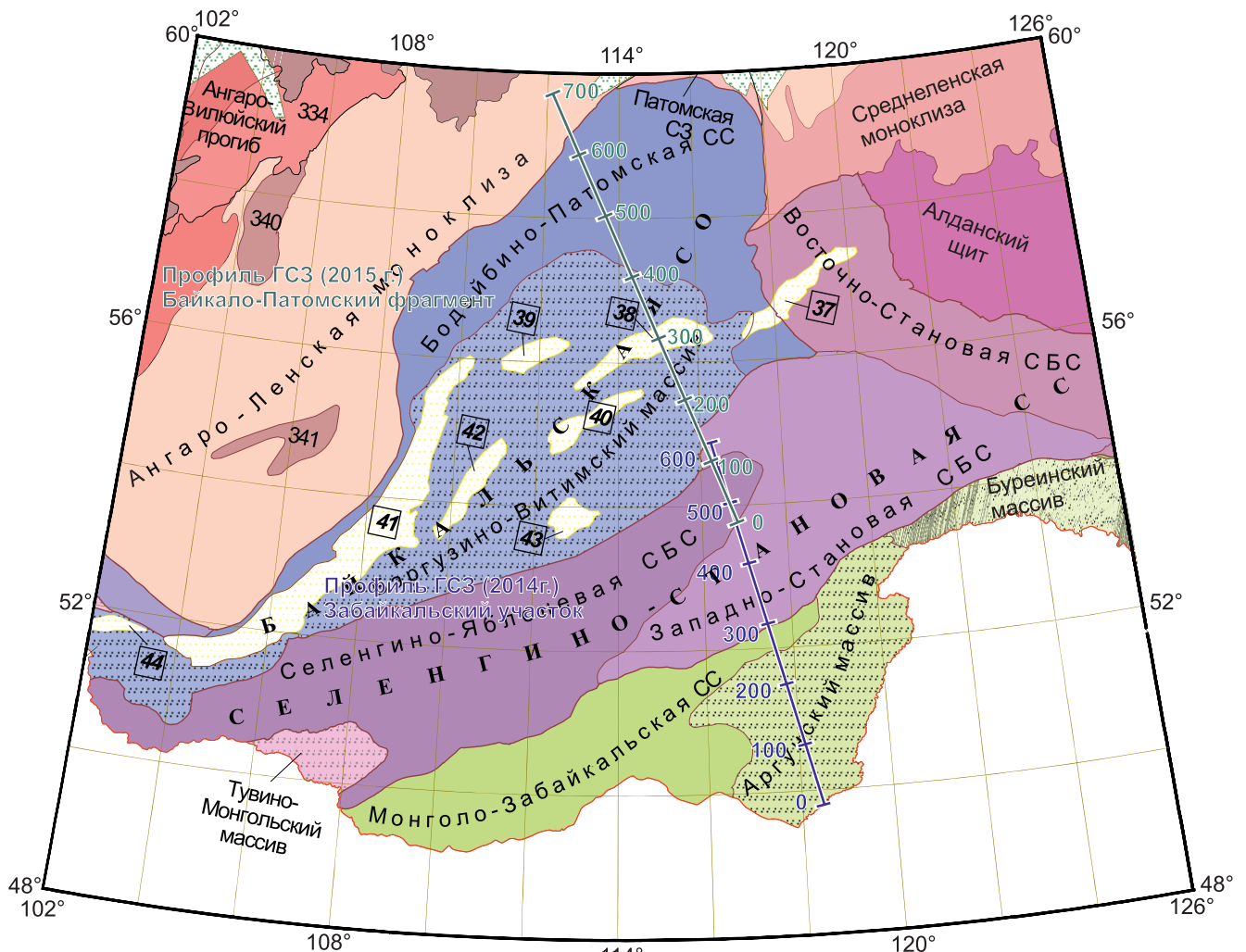


Рис. 1. Схема тектонического районирования согласно [3] в полосе опорного профиля 1-СБ (Восточный участок)

Цифры в квадратах – рифтогенные впадины: 37 – Чарско-Чаруодинская, 38 – Муйская, 39 – Верхнеангарская, 40 – Ципинская, 42 – Баргузинская, 44 – Киренская; 41 – Байкальский рифт; 43 – Амалатское лавовое поле

ренциальных сейсмических зондирований [8, 10]. Реализованы достаточно плотные системы наблюдений: с расстояниями в среднем 15–30 км между источниками возбуждения (взрывы в озерах массой заряда 3–6 т, мощные вибраторы), 4–5 км между регистрирующими станциями (РОСА, Байкал) с группами вертикальных приборов СВ-5 и Sersel SG-5, 20 км – с трехкомпонентными приборами GS-20DX, GS-One.

В целом на профиле задействовано 37 взрывных и 15 вибрационных источников. Дальность регистрации на ряде участков опорного профиля достигала 400–500 км. Высокая плотность наблюдений, хорошее качество экспериментальных данных на вертикальных и трехкомпонентных приборах позволили детально изучить волновое поле как продольных, так и поперечных волн.

***P*-волны**

Анализ волнового поля показывает (рис. 2), что на записях в первых вступлениях уверенно выделяются продольные волны от границ в верхней и средней (эпизодически и в нижней) частях земной коры ($P_{\text{реф}}$) и поверхности Мохоровичича ($P_{\text{пр}}^M$).

В последующих вступлениях поля продольных волн на удалениях 80–200 км выделяются интенсивные 3–4-фазные отражения от границы М [2, 4].

В пределах профиля скорость P -волн в первых вступлениях на удалениях от 0 до 10–15 км в целом изменяется от 3,5–4,5 до 5,5–5,8 км/с; от 10–15 км и до больших удалений скорость продольных волн по основной массе годографов возрастает незначительно, примерно до 6,0–6,2 км/с, редко (на отдельных годографах на удалениях более 120–150 км) – до 6,3–6,5 км/с.

Значения кажущейся скорости $P_{\text{пр}}^M$ -волн, прослеживающихся в первых вступлениях на удалениях свыше 170–180 км в пределах профиля изменяются от 7,7 до 8,7 км/с. Более высокие ее значения установлены практически на всем Забайкальском фрагменте профиля и на нескольких участках Байкало-Патомского. Продольные волны от поверхности Мохоровичича практически на всех пунктах взрыва выразительны на сейсмограммах, состоят из двух-трех фаз с видимыми частотами 8–11 Гц (см. рис. 2). Нагоняющие годографы параллельны и увязываются во взаимных точках по системам встречных и нагоняющих годографов.

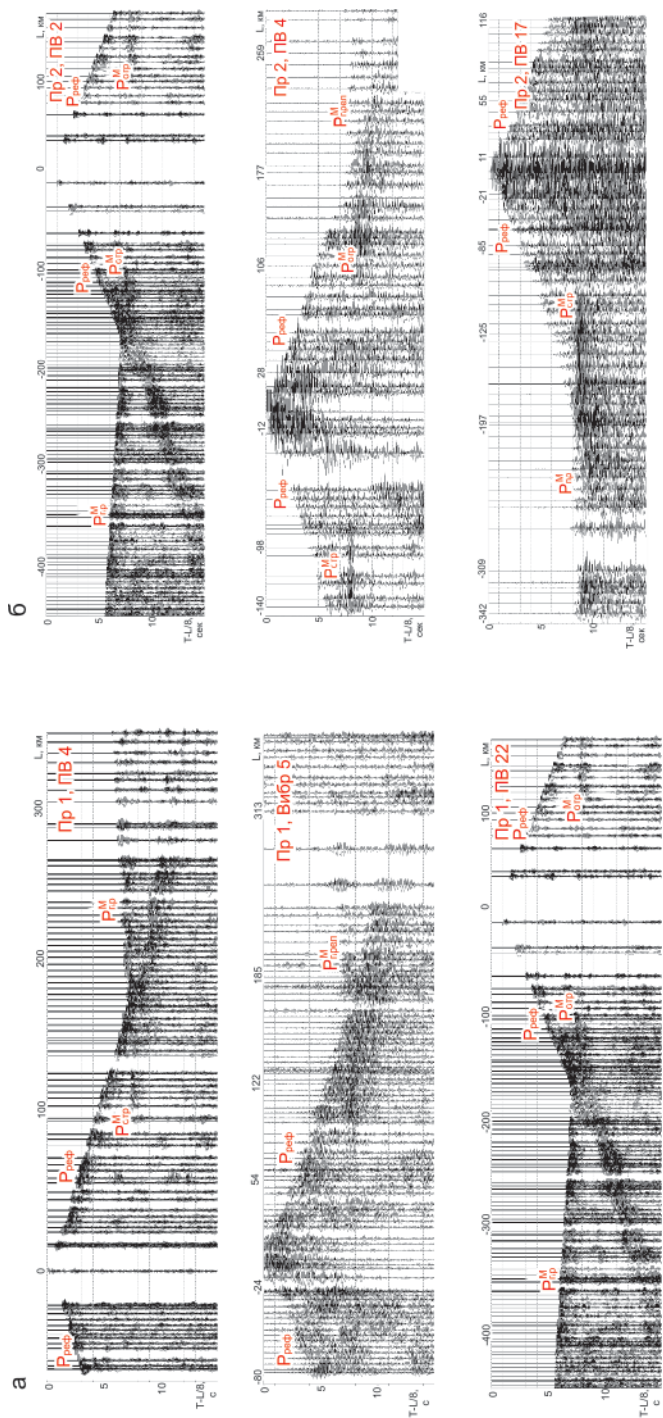


Рис. 2. Пример волнового поля в области продольных волн на Забайкальском (а) и Байкало-Патомском (б) фрагментах профиля 1-СБ «Восточный»

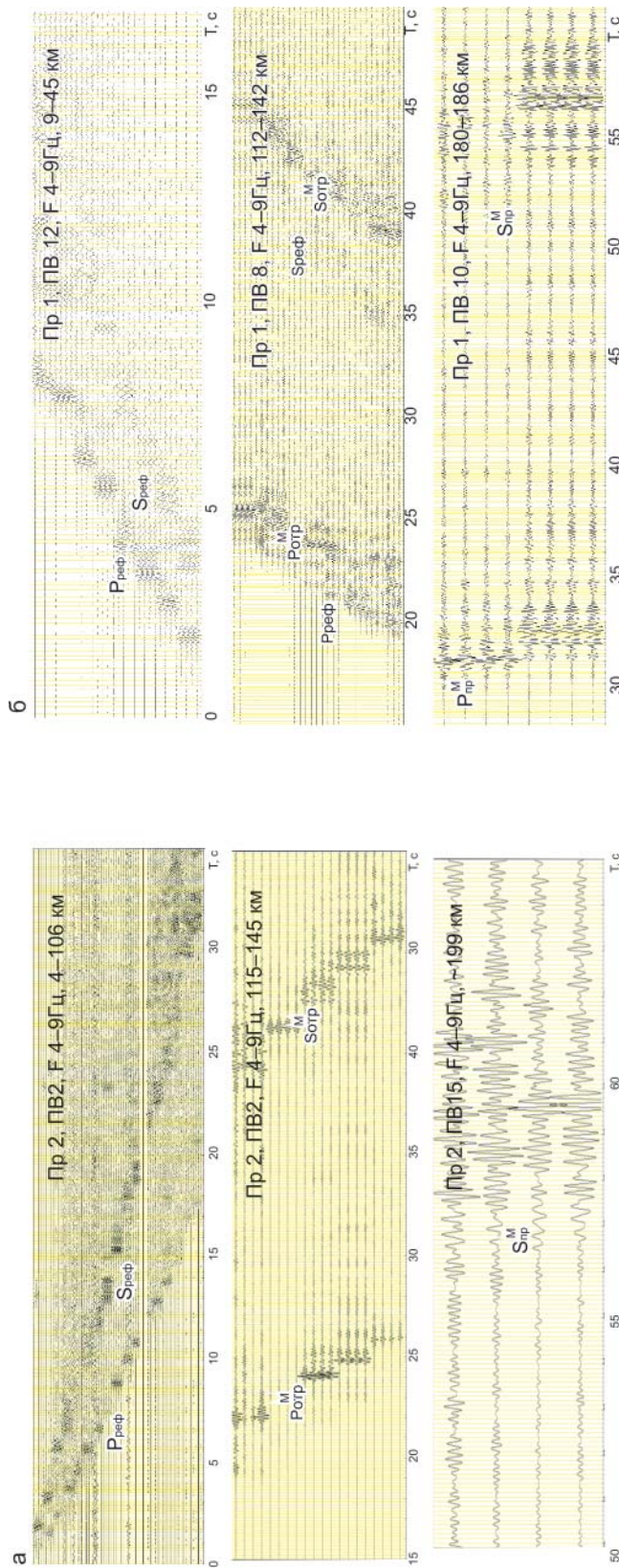


Рис. 3. Примеры записей поперечных волн на вертикальных профилях на Забайкальском (а) и Байкало-Патомском (б) фрагментах профиля 1-СБ «Восточный»

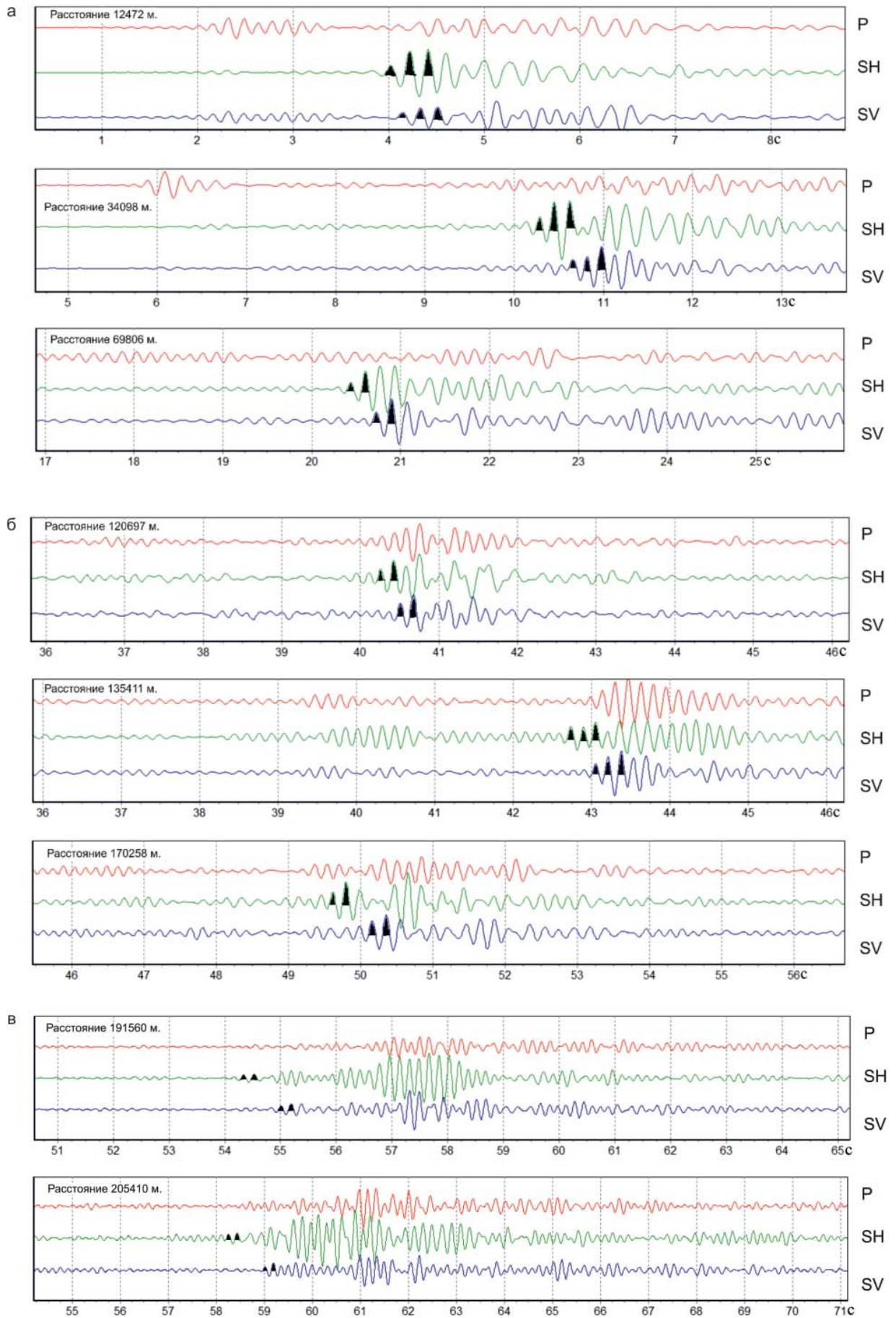


Рис. 4. Примеры записей поперечных волн после поляризационной обработки трехкомпонентных данных на профиле 1-СБ: а – данные рефрагированных S-волн из верхней и средней части земной коры; б, в – записи поперечных отраженных и преломленных волн от границы М соответственно

Отраженные продольные волны от поверхности Мохоровичича наиболее выразительны в области начальной точки на удалениях 90–120 км, состоят из трех-четырех фаз с видимыми частотами 8–11 Гц (см. рис. 2). В целом на профиле отмечается нерегулярный характер записи отраженной волны от границы М, выражающийся в отсутствии ярко выраженных записей $P_{\text{пр}}^M$ -волн для некоторых участков профиля.

S-волны

За полем продольных волн менее уверенно на вертикальных (рис. 3) и уверенно на трехкомпонентных приборах (рис. 4) выделяется поле поперечных аналогов. Наиболее представительный материал получен по данным преломленных (рефрагированных) поперечных волн от границ в земной коре ($S_{\text{реф}}$) и отраженным S-волнам от поверхности Мохоровичича ($S_{\text{отр}}^M$). Поперечные волны лучше выражены при возбуждении и регистрации на высокоскоростных участках профиля (высокогорной местности) и слабо выделяются на низкоскоростных (осадочные впадины). По сравнению с продольными волнами времена регистрации S-волн повышены в 1,5–2 раза (см. рис. 3, 4), видимые частоты и кажущаяся скорость на сейсмограммах понижены. По интенсивности они в значительной части записей соизмеримы с соответствующими аналогам поля продольных волн. По ряду хороших записей проведена корреляция и построены редуцированные годографы поперечных преломленных (рефрагированных) волн и поперечных отраженных волн от поверхности Мохоровичича. Как и для продольных волн, в целом по годографам преломленных (рефрагированных) поперечных волн отмечено увеличение кажущейся скорости от 2,1–3,3 км/с на удалениях от 0–10 до 20 км до 3,6–3,8 км/с на удалениях 140–180 км, соответствующее значениям скорости S-волн в самой верхней и средней частях земной коры. На удалениях свыше 180–200 км на ряде записей выделяются поперечные волны с высокими значениями кажущейся скорости (4,5–5,1 км/с), соответствующие поперечным преломленным волнам от границы Мохоровичича. Наиболее высокие значения кажущейся скорости $S_{\text{отр}}^M$ -волн, как и по продольным волнам, установлены на всем Забайкальском фрагменте профиля и на нескольких участках Байкало-Патомского.

Интерпретация и результаты

Интерпретация данных P- и S-волн проводилась раздельно на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля традиционными для ГСЗ способами [8, 11]. Были построены годографы рефрагированных P- и S- волн, преломленных и отраженных P- и S- волн от границы Мохоровичича, увязанные во взаимных точках. По данным рефрагированных P- и S-волн рассчитаны томографические разрезы земной коры до глубин 15–25 км [2, 4]; по

данным преломленных и отраженных продольных и поперечных волн от границы М определялись средняя (эффективная) скорость P- и S-волн в земной коре, положение поверхности Мохоровичича и распределение вдоль нее значений скорости упругих волн. Определение граничной скорости P-волн по границе М и эффективной скорости продольных волн в земной коре Забайкальского фрагмента профиля 1-СБ «Восточный» детально освещено в работе [2], результаты определения $V_{\text{г}}$ и $V_{\text{эфф}}$ продольных волн на Байкало-Патомском фрагменте профиля приведены в работе [4] (рис. 5).

При определении граничной скорости S-волн в связи с небольшой областью уверенного прослеживания преломленных поперечных волн от границы М использовались начальные точки по данным отраженных S-волн на удалениях 80–110 км. Это привело к большим осреднениям и, как следствие, к более сглаженному результату определения граничной скорости S-волн по сравнению с данными по продольным преломленным волнам от границы М.

По результатам интерпретации опорных продольных и поперечных волн построены глубинные сейсмические разрезы на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля. Реализован комбинированный способ восстановления результирующих разрезов, описанный в [2, 4], включающий томографические построения верхней части разреза по данным коровых преломленных (рефрагированных) P- и S-волн; восстановление границы М по данным преломленных и отраженных P- и S-волн, скоростей в нижней части коры по данным закритических отраженных P- и S-волн от границы М на удалениях 200–300 км, восстановления скоростей P- и S-волн в средней части разреза путем просчета прямых кинематических задач в рамках многослойной модели среды и согласования с эффективными скоростями во всей толще земной коры. Данные построений разными методами должны согласовываться в результирующей модели (рис. 6).

Скоростной глубинный разрез по продольным волнам по профилю проверен решением прямой задачи методом лучевого моделирования (см. рис. 6, в). Основные особенности глубинного строения на рис. 6, а и б, в совпадают. Имеются некоторые различия по топографии границы М на наиболее сложных в геологическом отношении участках. Так, на разрезе на рис. 6, в не проявляется выступ поверхности Мохоровичича на 750 км с высокой $V_{\text{гр}}$. Зона с пониженными значениями $V_{\text{гр}}$ (7,9 км/с) по границе М в области 800–900 км смещена несколько южнее и имеет меньшее латеральное распространение, чем на разрезе, изображенном на рис. 6, а.

Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах примерно 40 км в юго-восточной половине профиля и 40–48 км в северо-западной его половине. Под крупными хребтами (Южно-Муйским, Северо-Муйским и Делюн-Уранским) мощность земной

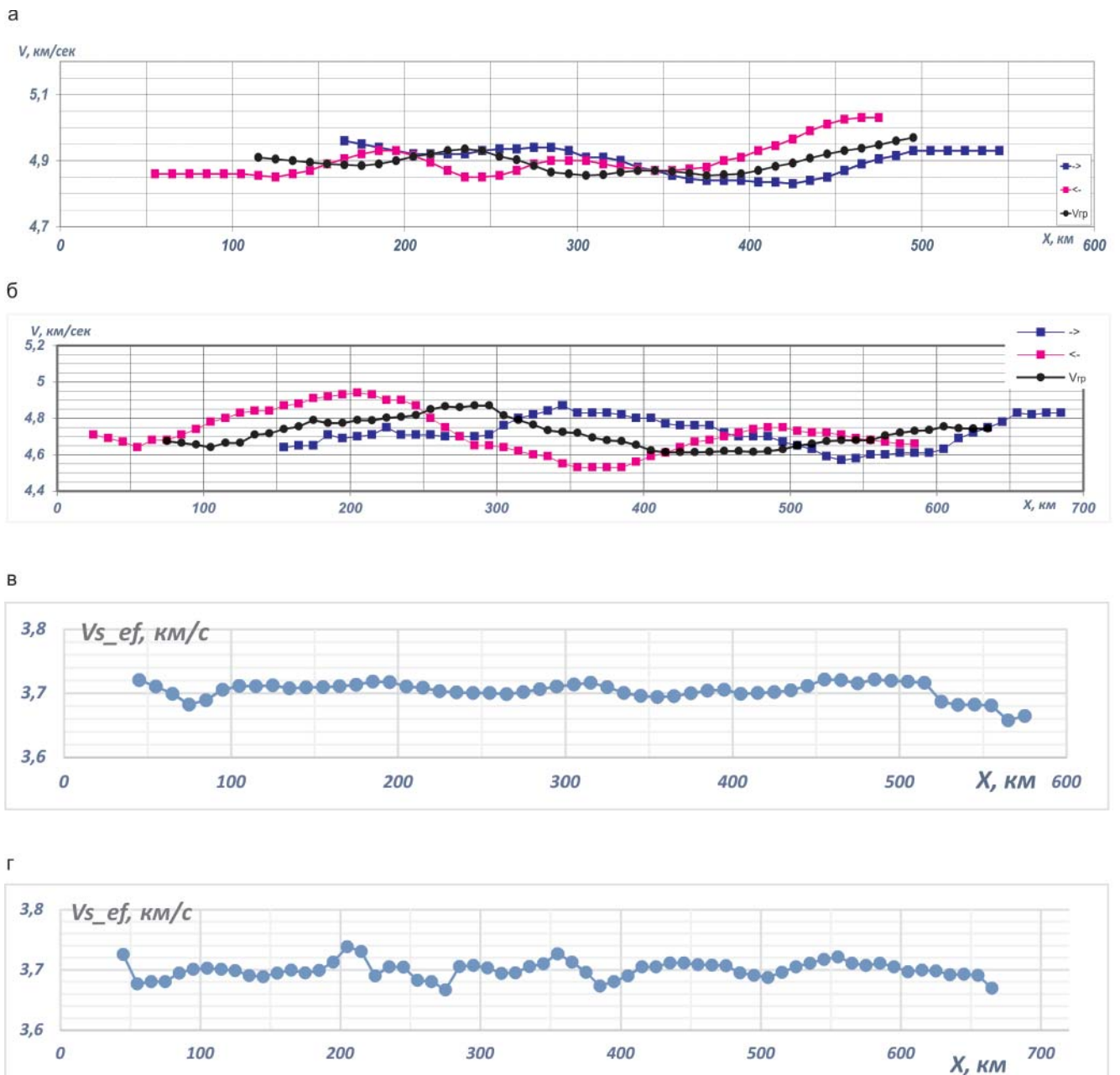


Рис. 5. Определение скорости поперечных волн в земной коре и мантии на профиле 1-СБ «Восточный»: а, б – графики кажущейся скорости в прямом и встречном направлениях и граничной скорости (выделена черным цветом) поперечных волн на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля 1-СБ соответственно; в, г – результаты определения эффективной скорости поперечных волн по центрам зондирования (окно 50 км, шаг 10 км) на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля 1-СБ соответственно

коры повышена до 45–48 км. Эффективная скорость распространения сейсмических волн до границы М по данным отраженных продольных и поперечных волн составляет 6,4–6,5 км/с и 3,65–3,75 км/с соответственно.

Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича повышена до $8,40 \pm 0,15$ км/с в юго-восточной половине и в центральной части Баргузино-Витимского массива в пределах Муйской глыбы (745–805 км) в северо-западной половине профиля (см. рис. 6, а). Пониженные значения граничной скорости Р-волн от границы М (7,8–8,0 км/с) отмечены в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбин-

ско-Патомской складчатой системы (825–945 км). На других участках установлены нормальные значения граничных скоростей продольных волн ($8,1 \pm 0,1$ км/с, см. рис. 6, а). В целом полученное распределение граничной скорости на изучаемом профиле коррелирует с таковым по материалам ГСЗ 1970–1980-х гг. [10, 15].

Значения граничной скорости S-волн повышены (4,85–4,95 км/с) в юго-восточной части профиля (см. рис. 6, б), а в северо-западной она в целом изменяется от 4,6 до 4,9 км/с: более высокие значения ($>4,7$ км/с) отмечены в пределах Баргузино-Витимского массива (в особенности в районе Муйской глыбы) и в северо-западной части Бодайбин-



бино-Патомской складчатой системы, пониженные (4,6 км/с) – в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбино-Патомской складчатой системы, Западно-Становой складчато-блоковой системы и Баргузино-Витимского массива (см. рис. 5, б, рис. 6, б).

Чрезвычайно неоднородна по распределению скоростей Р- и S-волн верхняя часть земной коры до глубин 10–15 км (см. рис. 6). По данным продольных волн на глубинах 5–15 км в пределах профиля выделяется несколько высокоскоростных блоков со скоростью 6,3–6,5 км/с. Зоны повышенных скоростей прослеживаются в северо-западной части Газимурского блока, Пришилкинской зоне, Букачача-Сырыгичинском блоке, Баргузино-Витимском массиве, в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбино-Патомской складчатой системы и в северо-западной части последней. Зоны пониженных скоростей (6,0–6,1 км/с) на тех же глубинах выделяются в центральной части Газимурского блока, в области сочленения Букачача-Сырыгичинского и Жирекенского блоков, в юго-восточной и центральной части Баргузино-Витимского массива и в центральной части Бодайбино-Патомской складчатой системы. Значения пластовой скорости в средней части земной коры составляют 6,4–6,5 км/с, в нижней части разреза – 6,6–6,7 и 6,7–6,8 км/с для юго-восточной и северо-западной частей профиля соответственно (см. рис. 6, а).

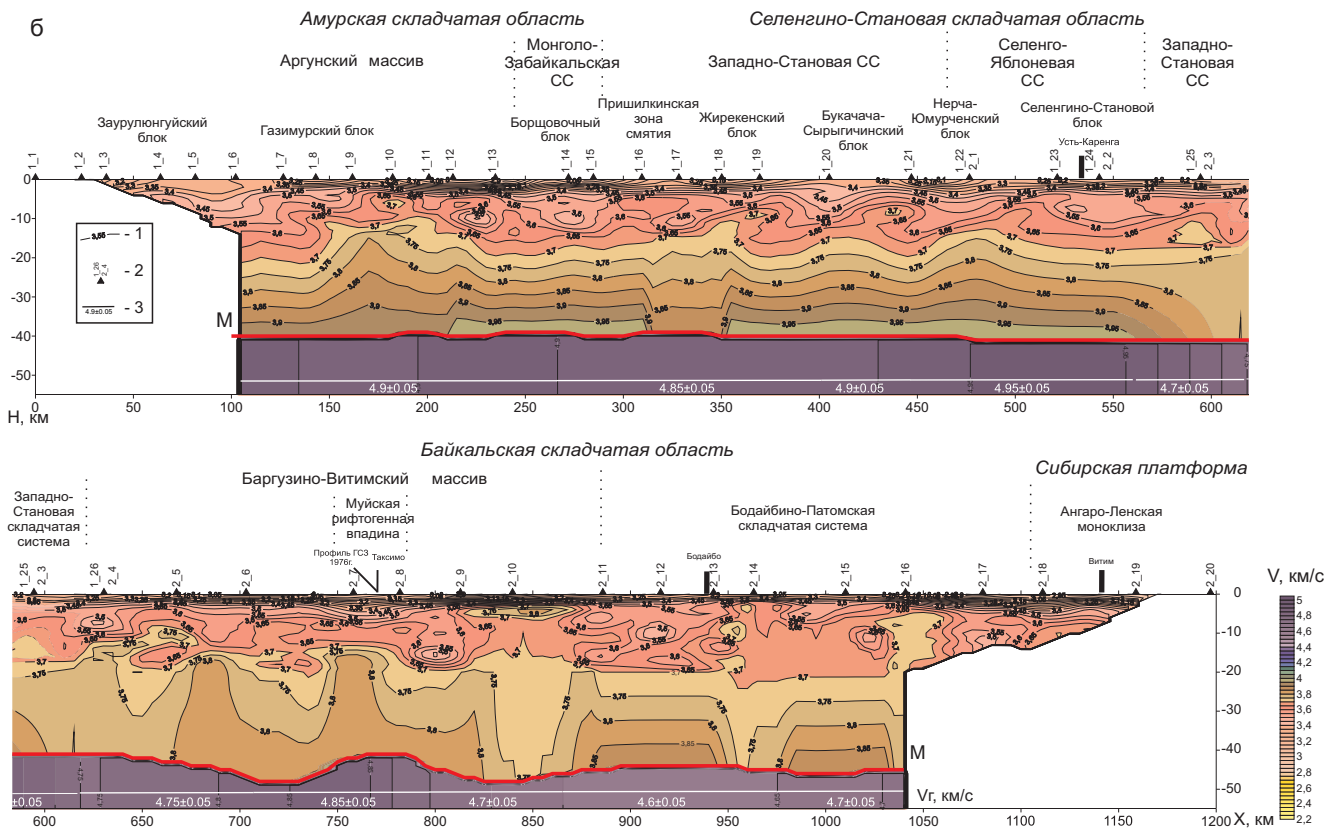
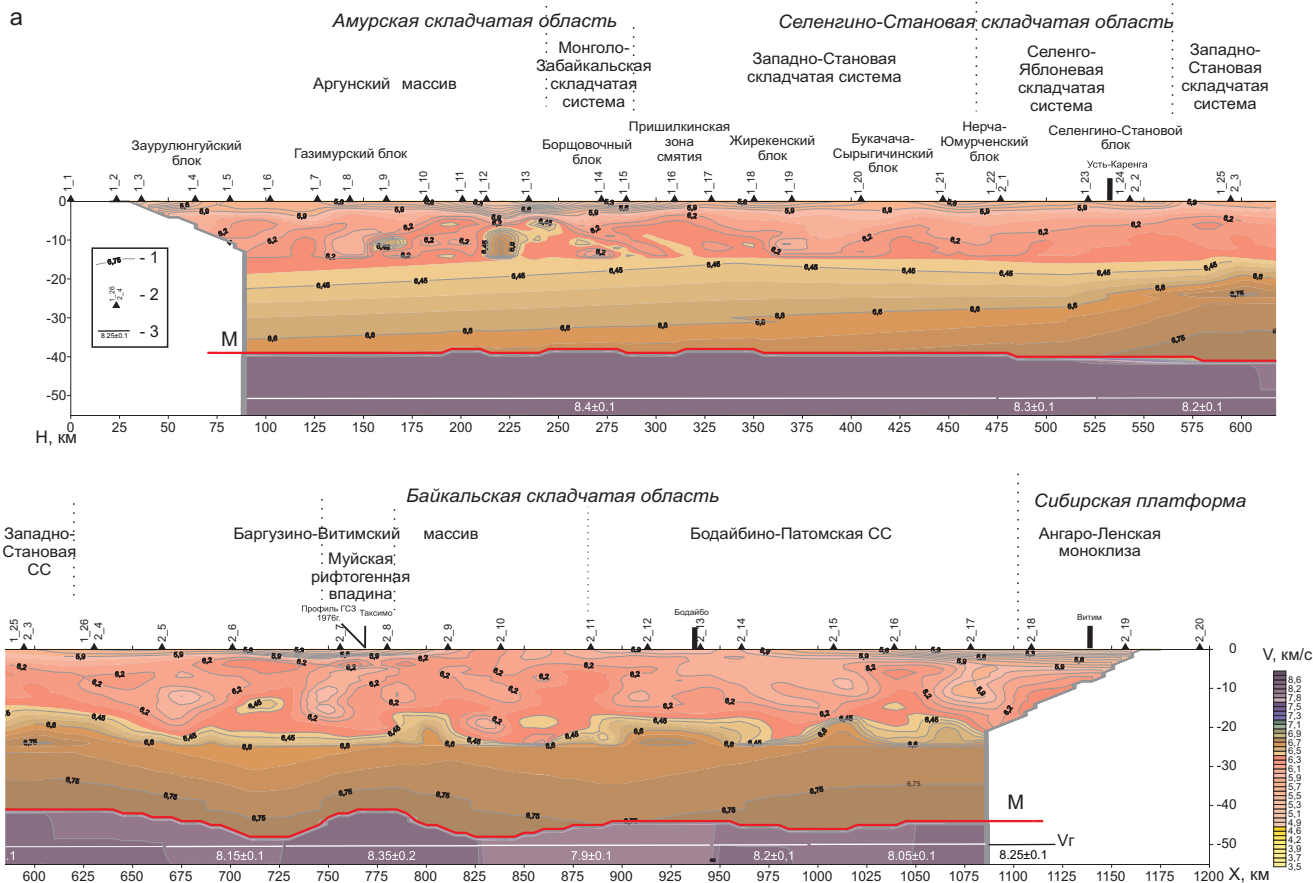
По данным S-волн выделяются зоны пониженных значений скорости ($\approx 3,4$ – $3,5$ км/с) в самой верхней части разреза на юго-востоке профиля в пределах Заурулюнгуйского, Борщовочного и южной части Сырыгичинского тектонических блоков (см. рис. 6, б), зоны повышенных значений ($\approx 3,6$ – $3,7$ км/с) – в Газимурском блоке, Пришилкинской зоне, Жирекенском и Букачача-Сырыгичинском блоках также на юго-востоке. В северо-западной его части наиболее высокими значениями скорости поперечных волн в верхней части земной коры (3,65–3,75 км/с) характеризуются высокогорные участки в пределах Селенга-Станового блока, Баргузино-Витимского массива и Патомского нагорья (см. рис. 6, б), пониженные значения скорости S-волн (3,0–3,3 км/с) установлены на участках межгорных впадин (Муйско-Кондинская впадина, 740–790 км и др.) и Ангаро-Ленской моноклизы. На глубинах 10–15 км скорость поперечных волн в целом по профилю возрастает до 3,65–3,75 км/с. Значения пластовой скорости S-волн в нижней части земной коры по профилю составляют 3,85–3,95 км/с в юго-восточной части профиля и 3,75–3,85 км/с – в северо-западной.

По соотношению скоростей Р- и S-волн в верхней коре профиля явно выделяются большие участки пониженных значений отношений V_p/V_s (1,60–1,70) (см. рис. 6, а). В самой верхней части земной коры это блоки: Заурулюнгуйский (30–60 км), Газимурский (100–210 км) и Букачача-Сырыгичинский

(360–450 км на глубине 10–15 км). В северо-западной половине профиля участки с такими значениями на глубинах 3–25 км (640–870 км) пространственно совпадают с крупными хребтами: Южно- и Северо-Муйским, Каларским и Делюн-Уранским. Под двумя последними зоны пониженных отношений V_p/V_s расположены на меньших глубинах, чем под первыми. Между крупными хребтами в верхней части земной коры выделяются зоны повышенных отношений V_p/V_s (1,75–1,8). В Бодайбино-Патомской складчатой системы (930–1120 км) зоны пониженных отношений V_p/V_s (1,60–1,70) прослеживаются на небольших глубинах (3–10 км). На участке 875–925 км указанная система отделена от Баргузино-Витимского массива зоной повышенных отношений V_p/V_s (1,75–1,8), прослеживающейся до глубины 25 км. Распределение значений коэффициента Пуассона аналогично отношению V_p/V_s , но менее контрастно (см. рис. 6, б).

Прогноз рудных узлов по материалам ГСЗ на профиле 1-СБ

Одна из главных задач проведения опорных геолого-геофизических профилей в России – разработка предварительных глубинных прогнозно-поисковых критериев для выделения геологических структур, перспективных на обнаружение стратегических, благородных, остродефицитных и высоколиквидных видов минерального сырья на основе обработки новых и анализа ретроспективных геолого-геофизических материалов по опорному профилю. В работе [12] по результатам глубинных сейсмических исследований на опорных профилях на востоке России представлен анализ связи скоростных аномалий продольных и поперечных волн с известными и потенциальными рудопроявлениями. Принципиальная особенность совместного использования продольных и поперечных волн в случае изотропных глубинных объектов заключается в том, что в результате получается не один, как обычно, а два сейсмических образа изучаемой среды, найденных по соответствующим волнам разной поляризации. Эти исходные образы могут быть трансформированы в ряд вторичных образов на основе известных функциональных и корреляционных связей скоростей Р- и S-волн с искомыми параметрами среды [1, 8, 9, 13]. Одним из вторичных функциональных сейсмических образов, объединяющих данные по продольным и поперечным волнам, является распределение коэффициента Пуассона (σ), однозначно определяемого в рамках изотропной упругой модели по значениям скоростей Р- и S-волн на исходных разрезах. Коэффициент Пуассона – упругая деформационная характеристика, связанная с вещественным составом и степенью нарушенности кристаллических горных пород. Минимальные его значения обычно характерны для относительно хрупких, нарушенных трещинами пород с повышенным содержанием кварца [8]. Необходимо отметить, что



при традиционных исследованиях Р-волн функциональные параметры не могут быть найдены даже для изотропной модели, а корреляционные связи

только скорости V_p с другими параметрами среды, как правило, менее тесные, чем для пары значений V_p и V_s . По соотношению времен регистрации

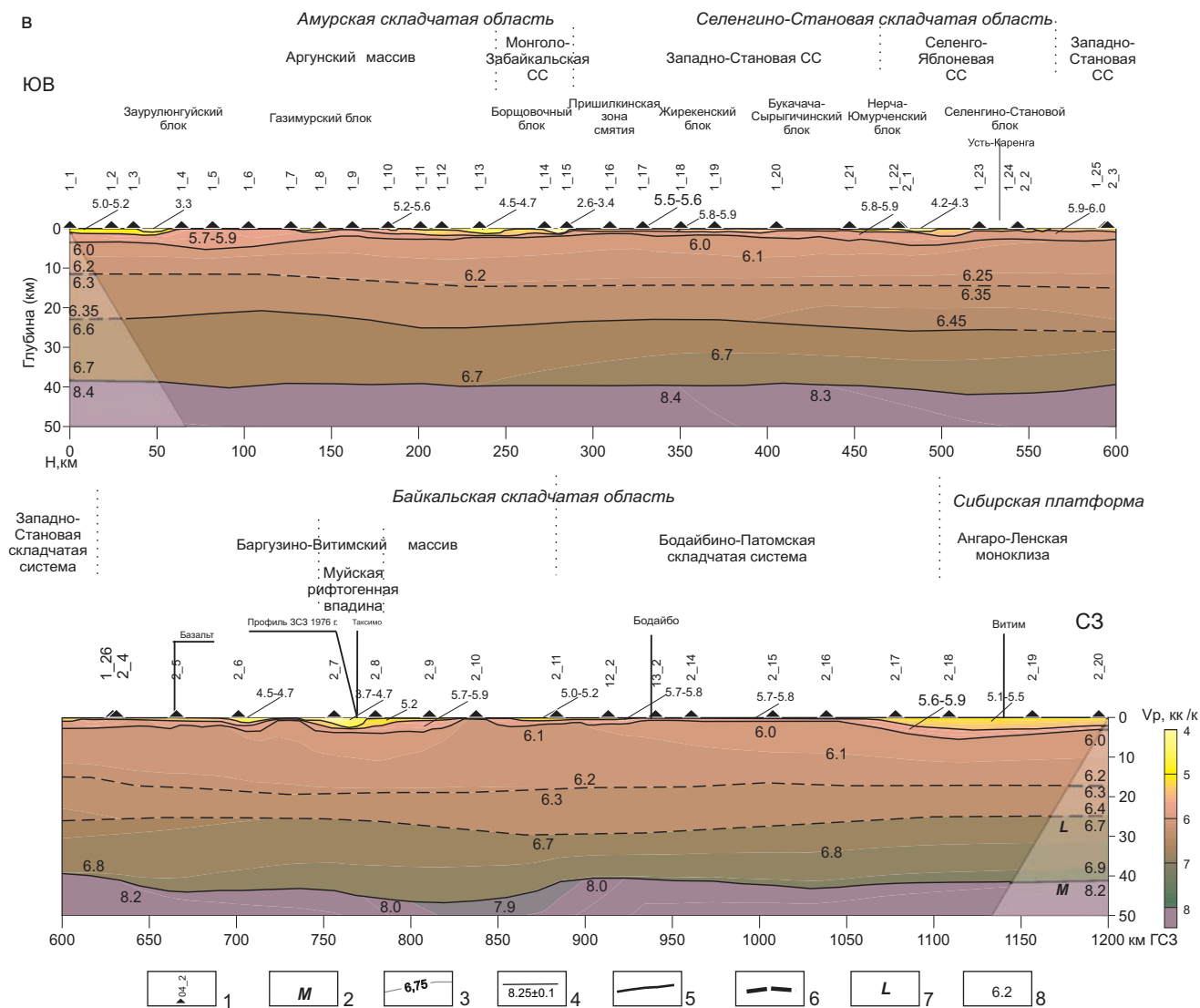


Рис. 6. Глубинные сейсмические разрезы по данным продольных (а) и поперечных (б) волн по профилю 1-СБ «Восточный» и сводная скоростная модель земной коры и верхней мантии по продольным волнам для профиля 1-СБ «Восточный», построенная решением прямой задачи методом лучевого моделирования (в)

1 – пункты взрыва: этап (1 – Забайкальский, 2 – Байкало-Патомский) и номер; 2 – подошва земной коры (поверхность Мохоровичича) (см. рис. 6, а, б); 3 – изолинии скорости, км/с; 4 – значения граничной скорости по границе Мохоровичича, км/с (см. рис. 6, в); границы, прослеживаемые: 5 – уверенно, 6 – неуверенно; 7 – кровля нижней коры; 8 – скорости продольных волн, км/с

P- и S-волн на малых удалениях (t_s/t_p), отношению скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s) и коэффициенту Пуассона (σ) в верхней части разреза на профилях 2-ДВ, 2-ДВ-А и 3-ДВ был выделен ряд явно выраженных участков с пониженными ($<1,70$) значениями отношений t_s/t_p , V_p/V_s и коэффициентом Пуассона менее 0,25. Было отмечено [12], что практически все определенные таким способом участки совпали с известными зонами рудопроявлений. Прежде всего это блоки земной коры, в пределах которых размещены золото-серебряные месторождения. Пониженные отношения скоростей V_p/V_s и коэффициента Пуассона зависят от гранитоидов (кислые), с которыми чаще всего связаны золотоносные кварцевые жилы.

Подобный анализ связи скоростных аномалий продольных и поперечных волн с известными

и потенциальными рудопроявлениями был выполнен также на профиле 1-СБ. По соотношению времен регистрации P- и S-волн на малых удалениях (менее 50 км), отношений скоростей продольных и поперечных волн (на сводном разрезе) и коэффициента Пуассона в верхней части разреза на профиле выделены отчетливо выраженные участки с пониженными ($<1,70-1,73$) значениями t_s/t_p , V_p/V_s и $\sigma < 0,25$.

Участок 1 (25–60 км). Аномалия проявлена с самой поверхности и выделяется в центральной части Зауралюньгуйской [5, 17] или Приаргунской по данным сайта ВСЕГЕИ <http://www.vsegei.ru/ru/info/webmagnet> (далее – сайта) и [16] флюоритово-урановой рудной минерагенической зоны. Согласно [5] вмещающие породы Зауралюньгуйского блока представлены раннепротерозойскими ри-



фейскими и позднепалеозойскими гранито-гнейсовыми породами, что подтверждается также значениями скоростей Р- и S-волн (примерно 5,8 и 3,4 км/с соответственно, см. рис. 6). Кислые породы с высоким содержанием кремнезема и определяют приуроченность к ним урановых месторождений [14].

Участок 2 (100–130 км). Аномалия более выражена на глубинах 3–5 км. В гранитогнейсах (со скоростями Р- и S-волн около 5,8 и 3,4 км/с соответственно) размещается Кличкинский флюоритово-полиметаллический (ураново-флюоритово-цинково-свинцовый) рудный район и Александрово-Заводской свинцово-цинковый рудный район [5, 17]. По данным с сайта и [16], выделенный участок находится в пределах Аргунской (или Приаргунской [16]) минерагенической рудной зоны (или субпровинции по [17]).

Участок 3 (160–180 км). Аномалия выражена с поверхности до глубин 5–6 км. В кислых гранитоидах участка размещены золото-молибденовые месторождения (Шахтинский золото-молибденово-рудный район) согласно [5] и данным с сайта. Находится в Аргунской [17] или Бугдая-Будюмуканской (по [16]) рудной минерагенической зоне (или субпровинции по данным с сайта).

Участки 4 (210–240 км) и 5 (255–280 км). Аномалии более выражены на глубинах 2–5 км (см. рис. 6). Ундинский блок представлен раннепротерозойскими метаморфизованными и магматическими породами (гранитогнейсы) [6]. Выделенные участки находятся в пределах Унда-Шилкинской полиметаллически-редкоземельно-золоторудной зоны согласно [6] и данным с сайта. Согласно [17] участки находятся в Аргунской и Борщовочной минерагенических зонах соответственно. В пределах участка 4 размещается Балейский сурьмяно-золоторудный узел, участка 5 – Усть-Карский свинцово-молибденово-золоторудный узел согласно [6] и данным с сайта.

Участок 6 (300–320 км) выделяется по локальным пониженным отношениям V_p/V_s и σ в самой верхней части разреза. Находится в центральной части Дарасун-Могочинской по [17] или Пришилкинской по [6] и данным с сайта сурьмя-медь-молибден-золоторудной минерагенической зоны. Вмещающие породы в верхней части разреза представлены гранито-гнейсами и гранодиоритами Бухточинского комплекса [6].

Участок 7 (380–410 км) выделяется по локальным пониженным отношениям V_p/V_s и σ в самой верхней части разреза. Аномалия пониженных значений отношения V_p/V_s и σ протягивается в юго-восточном направлении до больших глубин – 10–14 км (рис. 7). Пространственно выделенный участок нахо-

дится в западной части Жирекенского золото-медь-молибденоворудного района юго-западной части Дарасун-Могочинской [17] или Нерча-Олекминской по [16] минерагенической зоны. Вмещающие породы, согласно [6], представлены гранито-гнейсами и гранитами (массивными и гнейсовыми).

Участок 8 (430–440 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается на глубинах от 2–3 до 8–10 км. Пространственно находится на границе Хилок-Витимской и Дарасун-Могочинской минерагенических зон [17]. Согласно [6] на поверхности в нижнепалеозойских гранитах и гранитогнейсах закартировано большое количество проявлений золота, вольфрама, молибдена, свинца, цинка, меди (в рудоконтактах гранитной интрузии). По данным с сайта, в западной части от выделенного участка закартирован Канталакский флюоритово-редкометалльный рудный район, а в восточной части – Нерчуганский ураново-редкометалльно-молибденоворудный район.

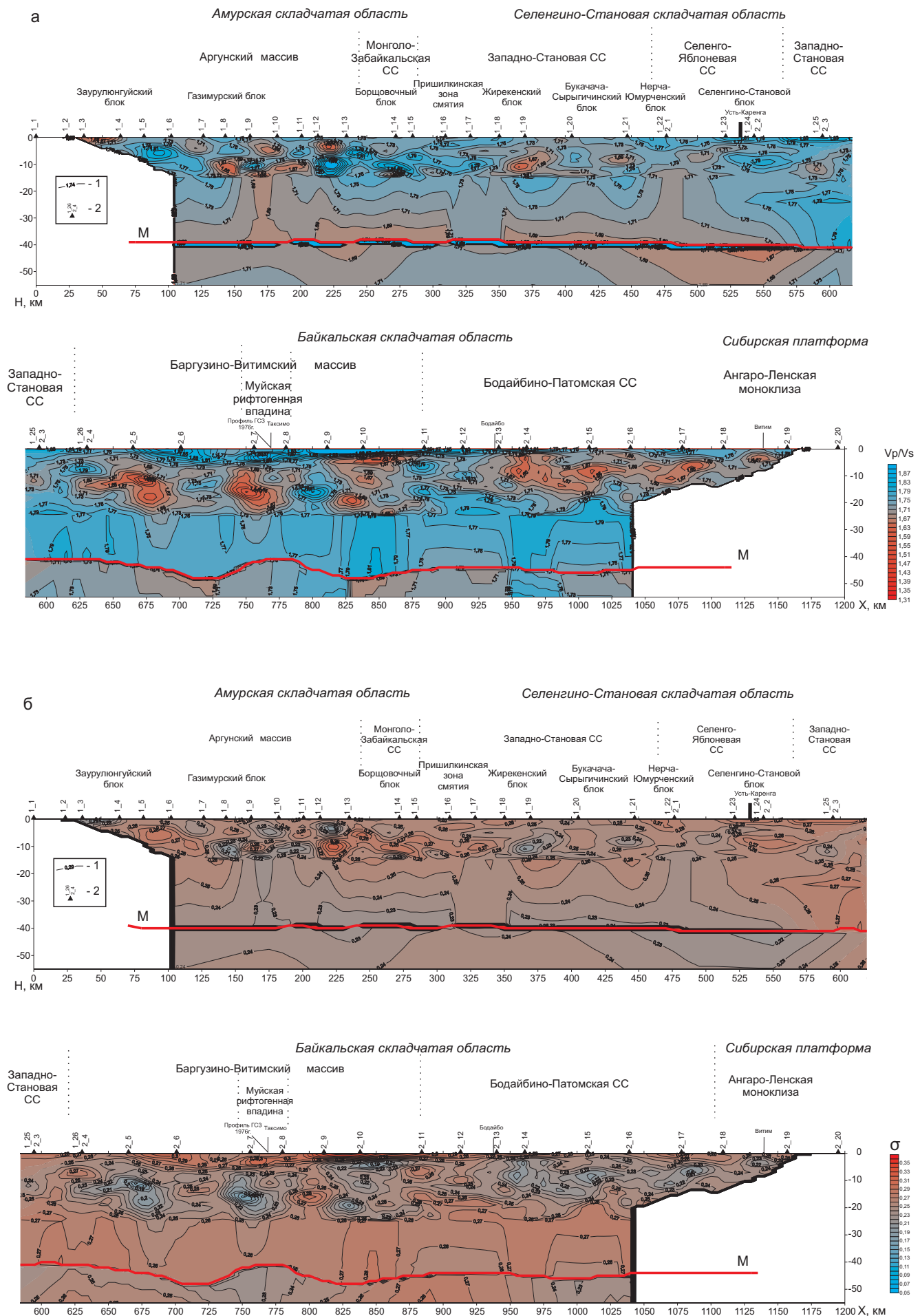
Участок 9 (520–535 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается на юго-восток на глубине от 2–3 до 8–10 км (см. рис. 7). Расположен в центральной части Хилок-Витимской (по [17]) или Тунгино-Витимской вольфрам-серебро-золото-молибденово-рудной минерагенической зоне (по данным с сайта). В центральной части [16] находится Ореkitканский молибденоворудный район Нерча-Олекминской рудной зоны. Вмещающие породы, согласно [6], представлены гранитами массивными и гнейсовыми.

Участок 10 (640–660 км, максимальное до 680 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается с глубин 2–3 км практически до средней коры (см. рис. 7). Более широкая зона (640–680 км) выделяется по данным отношений времен $t_s/t_p < 1,7–1,73$ (на удалениях менее 50 км); на этих удалениях лучи Р- и S-волн проникают уже на глубины 5–10 км. Выделенный участок находится в пределах Амалатской минерагенической зоны с железорудной и молибденовой минерализацией [17]. Он входит в Муйскую ртутно-асбестово-золотоносную минерагеническую зону (по [16]) или в Муйскую молибденово-вольфрамово-золоторудную минерагеническую зону (по данным с сайта).

Участок 11 (730–795 км). По отношениям $t_s/t_p < 1,7–1,73$ выделяется широкая зона (730–795 км). На этих удалениях лучи Р- и S-волн проникают уже на глубины 5–10 км, где выделяется область пониженных значений $V_p/V_s < 1,73$ и коэффициента Пуассона ($< 0,25$), которая прослеживается практически до средней коры (см. рис. 7, а, б). В самой верхней части разреза лишь на локальном участке (730–745 км) выделяется зона с падением значения отношений V_p/V_s до 1,75 и менее и σ – до

Рис. 7. Распределение отношений скоростей Р- и S-волн (а) и коэффициента Пуассона (б) в земной коре и верхней мантии на профиле 1-СБ

1 – изолинии скорости, км/с; 2 – пункты взрыва: номер этапа (1 – Забайкальский, 2 – Байкало-Патомский) и номер ПВ





0,26 и менее сравнительно с окружающими участками в верхней части разреза (см. рис. 7, а, б). По данным ГСЗ и КМПВ практически с самой поверхности в рассматриваемой зоне прослеживаются высокие скорости Р- и S-волн (5,9–6,0 и 3,3–3,4 км/с соответственно). Пространственно выделенный широкий «аномальный» участок находится в пределах Келянской и Муйской золото-серебряно-олово-титаново-рудной зоны [16, 17]. Оруденение Келяно-Мудириканского асбесто-золоторудного района в этой зоне связывается с отдельными массивами (штоками) гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса и представляет собой достаточно крупные минерализованные (молибденит и шеелит) штокверки с преобладанием молибденовой или вольфрамовой минерализации согласно [6] и данным с сайта. Участок 735–745 км находится в пределах крупного Ирокиндинского месторождения золота. Рудное поле месторождения сложено дислоцированными гнейсами, кальцифирами и ортоамфиболитами киндиканской толщи архея – раннего протерозоя и позднерифейскими гнейсоплагиогранитами, лейкократовыми гранитоидами бамбукойского комплекса, прорванными дорудными и синрудными дайками диорит-гранитной серии и пострудными дайками диабазов согласно тем же источникам. Исходя из сейсмических данных (см. рис. 6, 7), можно предположить, что выделяемое на поверхности золоторудное месторождение является малой частью основного рудного тела, сосредоточенного в гранито-гнейсовых породах на больших глубинах.

Участок 12 (835–865 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается с глубин около 2 км практически до средней коры (см. рис. 7, а, б). В самой верхней части разреза отмечаются высокие скорости Р-волн (6,0 км/с) и несколько пониженные S-волн ($\approx 3,0$ –3,1 км/с). Пространственно выделенный «аномальный» участок находится в пределах Мамаканской золото-свинцовой рудной зоны (по [17]) или в Каалу-Келянском ртутно-золоторудном районе (по данным с сайта).

Участки 10, 11 и 12, выделенные по распределению V_p/V_s и σ , имеют похожую конфигурацию (прослеживание аномально низких значений V_p/V_s и σ практически от поверхности до глубины около 20 км) и пространственно совпадают с выделяемой исследователями Муйской ртутно-асбестово-золотоносной минерагенической зоной Байкало-Витимской субпровинции [16].

Участок 13 (950–985 км). Крупная область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается практически с поверхности (примерно с 1–1,5 км) до глубин свыше 10 км (см. рис. 7, а, б). Пространственно выделенная область совпадает с Бодайбинской и Мамской золоторудными минерагеническими зонами [17]. Согласно [16] в непосредственной близости от выделенной области находится Бодайбинский платино-золоторудно-россыпной район Мам-

ско-Бодайбинской минерагенической зоны Байкало-Патомской субпровинции – самый продуктивный в отношении золоторудного и платинометалльного оруденения. Месторождения представлены малосульфидным золото-кварцевым типом. В северо-западной части выделенной области профиль 1-СБ «Восточный» пересекает Северо-Мамский мусковитовый рудный район Мамско-Чуйской минерагенической зоны согласно [6] и данным с сайта. Основу минерагении составляют промышленные месторождения мусковита и полевошпатового сырья в пегматитах раннепалеозойского мамского комплекса.

Участок 14 (1000–1050 км). Область пониженных значений отношений t_s/t_p и V_p/V_s и σ прослеживается практически с поверхности почти до глубин 10 км (см. рис. 7, а, б). Пространственно совпадает с Чуйско-Тонодской золото-редкометалльно-урано-железорудной минерагенической зоной Байкало-Патомской субпровинции [16, 17]. В состав ее раннекембрийских образований входят кристаллические породы архея – нижнего карелия (чуйская толща), нижнекарельские вулканогенно-осадочные отложения, прорванные позднекарельскими интрузиями гранитоидов (чуйско-нечерский комплекс). Они с резким несогласием перекрыты отложениями нижнего рифея (пурпольская свита), среднерифейскими образованиями медвежевской свиты и прорваны малыми субвулканическими телами медвежевского вулканического и гранитоидов язовского комплексов по данным с сайта ВСЕГЕИ. На рис. 7 видно, что зона пониженных значений V_p/V_s ($<1,7$) и σ ($<0,25$) на глубинах 4–10 (и до 12) км прослеживается в северо-западном направлении практически до 1100 км, расширяя область Байкало-Патомской субпровинции [3].

Участок 15 (1130–1145 км). Выделяется по локальным пониженным отношениям V_p/V_s и σ в самой верхней части разреза до глубин 3–5 км. По пониженным значениям t_s/t_p выделяемый участок несколько шире – 1175 км. Пространственно выделенная область совпадает с Витимской золоторудной минерагенической зоной [17].

Таким образом, основная часть выделенных участков на профиле совпадает с известными зонами рудопроявлений. Гранито-гнейсы, гранитоиды, гранодиориты, в которых размещены золотоносные кварцевые жилы и полиметаллические месторождения, являются причиной понижения здесь отношений V_p/V_s и коэффициента Пуассона ($<0,25$). Практически для всех выделенных участков 1–15 (см. рис. 6) отмечаются высокие скорости продольных и поперечных волн в верхней части разреза (в среднем 5,8 и 3,4 км/с соответственно). С использованием корреляционных зависимостей, установленных в работе [1] на основе данных измерений на образцах горных пород, были проведены расчеты количества кремнезема в залегающих выше гранитах и гранито-гнейсах. Формула для определения



процентного содержания кремнезема из работы [1] имеет следующий вид:

$$\sum \text{SiO}_2 = 152,4 - 20,82 V_p/V_s - 2,58K/\rho,$$

$$\text{где } K/\rho = V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 \text{ км}^2/\text{с}^2.$$

Суммарное количество кремнезема составило 70 %, что отвечает кислым кристаллическим породам и подтверждает сделанные ранее выводы.

Установленные по результатам глубинных сейсмических исследований в верхней части разреза на профиле 1-СБ «Восточный» высокие значения отношений скоростей V_p/V_s и коэффициента Пуассона могут свидетельствовать об увеличении основности пород, если речь идет о кристаллических породах, либо о повышенной их мощности, если породы низкоскоростные осадочные. Анализ выделяемых на профиле зон повышенных значений V_p/V_s ($>1,74$) и σ ($>0,25$) в верхней части разреза показал связь этих участков как с изменением минерального состава метаморфических и магматических пород, так и с увеличением мощности низкоскоростных пород в самой верхней части разреза. Явную связь выделяемых на профиле зон повышенных значений V_p/V_s и σ (см. рис. 7) и приуроченности к ним конкретных месторождений удалось проследить лишь на отдельных участках. Например, в пределах Заурулюнгуйского блока на участке профиля 60–100 км с повышенными значениями картируются свинцово-цинковые месторождения (Бурунтайский свинцово-цинковый рудный узел) [5, 16]. Подобные месторождения так называемого приаргунского типа в юго-восточном Забайкалье располагаются в пределах мезозойского вулканоплутонического пояса, сформировавшегося на фундаменте Аргунского эпигерцинского массива [14]. Особенность месторождений заключается в том, что они размещаются преимущественно в фундаменте, сложенном породами углисто-кремнисто-карбонатной формации и, в меньшей степени, в вулканитах позднеюрской трахириолит-трахиандезитовой формации. В ряде случаев эти и подобные им месторождения выделяются в самостоятельную группу метасоматических залежей свинцово-цинковых руд в карбонатных породах [14]. Для последних более закономерны повышенные значения V_p/V_s и коэффициента Пуассона. Выделяемая в верхней части разреза на участке профиля 60–100 км [5] мощная толща мезозойских осадочных отложений – причина повышенных значений V_p/V_s и σ . Наличие свинцово-цинковых месторождений на участках с пониженными значениями этих параметров (к примеру, участок 2) и в присутствии золото-серебряных и полиметаллических месторождений обусловлено тем, что мощность карбонатных пород понижена, как следует из геологического разреза верхней части земной коры [5].

Другая зона с повышенными отношениями указанных параметров, к которой приурочен рудный узел, – участок 460–500 км. В пределах участка вы-

деляется Канталакский флюорит-танталовый рудный район Тунгокоченской флюорит-тантал-ниобиевой минерагенической зоны [6]. Верхняя часть земной коры здесь представлена гранитами массивными, гранодиоритами, гранитогнейсами, насыщенными щелочно-гранит-сиенитовыми интрузиями [6].

Еще одной такой зоной является участок 1050–1125 км, в пределах которой выделяется Витимский железорудный район, приуроченный к зоне перехода от Чуйского к Тонодскому поднятиям и характеризующийся развитием железоносных осадочно-вулканогенных образований медвежевского комплекса и зон приразломных метасоматитов в надвиговых дислокациях Чуйского глубинного разлома. Стратифицированные и метасоматические руды железистых кварцитов района рассматриваются в качестве резервной минерально-сырьевой базы железа Восточной Сибири [3].

Менее четкая приуроченность отмечается для других участков с повышенными отношениями значениями V_p/V_s и σ в пределах профиля. В целом же для всех таких прослеживаемых участков (см. рис. 7) в пределах профиля 1-СБ «Восточный» при относительно высоких скоростях Р-волн, соответствующих кристаллическим породам, значения скоростей поперечных волн (см. рис. 6, б) уменьшены по сравнению с таковыми на выделенных участках 1–15. Это может свидетельствовать о повышении основности слагающих разрез горных пород. Расчеты содержания кремнезема SiO_2 для этих пород по приведенной ранее формуле при средних значениях скоростей Р- и S-волн 5,7 и 3,1 км/с соответственно дают значение около 63 %, что отвечает средним породам. Для отдельных участков профиля (в большей мере для северо-западной части профиля) повышение отношения V_p/V_s и коэффициента Пуассона в самой верхней части разреза может быть обусловлено также наличием низкоскоростных осадочных отложений, например в районе Муйско-Кондинской впадины (участок пос. Таксимо на рис. 6).

Учитывая определенную размытость выделяемых зон по данным ГСЗ, связанную с осреднением на больших базах, в дальнейшем необходимо привлечь более детальные материалы КМПВ с высокой плотностью наблюдений. Опыт исследований на профиле 3-ДВ показал, что данные КМПВ коррелируют с материалами ГСЗ и позволяют более детально картировать зоны с пониженными отношениями V_p/V_s . К таким зонам приурочены золото-серебряные платиноидные и урановые месторождения и др.

Выводы

Определены особенности глубинного сейсмического строения Забайкалья по данным разнополяризованных Р- и S-волн на опорном 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ «Восточный». Выявлено значительное изменение мощности земной коры вдоль профиля (от 40 до 48 км), сильное



изменение граничной скорости продольных волн по границе М (7,9–8,5 км/с) и менее сильное – поперечных волн (4,6–4,9 км/с). Во всей толще земной коры скорости Р- и S- волн составляют 6,4–6,5 и 3,65–3,75 км/с соответственно.

Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по соотношению скоростей Р- и S-волн и коэффициенту Пуассона. В верхней части земной коры в пределах профиля выделено 15 протяженных участков с пониженными значениями указанных параметров (>1,70–1,73 и >0,25 соответственно). Основная часть этих участков на профиле совпадает с известными зонами рудопроявлений – золото-серебряными, полиметаллическими и урановыми месторождениями в гранитоидных, гранитоидах и гранодиоритах.

Полученная новая дополнительная информация о глубинном строении слабо изученной территории Прибайкалья и Забайкалья чрезвычайно полезна для обоснования современной глубинной геофизической модели земной коры и верхней мантии региона, прогноза металлогении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников А. Л., Немзоров Н. И., Кашубин С. Н. Способ определения типа горных пород по сейсмическим данным: а. с. SU1642416 А1 кл. G 01 V1/30, 15.04.1991.

2. Глубинное строение Забайкальского участка Центрально-Азиатского складчатого пояса по данным ГСЗ (в створе опорного профиля 1-СБ) / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 4. – С. 91–103.

3. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии / С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн и др. // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 76. – С. 9–21.

4. Глубинные сейсмические исследования на Байкало-Патомском фрагменте Восточного участка опорного профиля 1-СБ / В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь-2017. Т. 3. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – С. 106–112.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение): объяснительная записка. Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50 – Борзя / ред. В. В. Старченко. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист N-50 – Сретенск / ред. В. Е. Руденко, В. В. Старченко. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 377 с.

7. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин / Ю. М. Эринчек, А. В. Липилин, Р. Б. Сержантов и др. // Геофизические методы исследования земной коры: матер. Всерос. конф., посвя-

щенной 100-летию со дня рождения акад. Н. Н. Пузырева (Новосибирск, 8–13 декабря 2014 г.). – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2014. – С. 282–288.

8. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и S-волнах / С. В. Крылов, Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина и др. – Новосибирск: Наука, 1993. – 199 с.

9. Деформационно-прочностное районирование земной коры Алтае-Саянской складчатой области / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Д. Дучков, А. В. Лисейкин // Проблемы сейсмологии III тысячелетия: матер. междунар. конф. – Новосибирск, 2003. – С. 332–337.

10. Изучение земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинного сейсмического зондирования / Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина, Г. В. Петрик и др. // Физика Земли. – 1999. – № 7–8. – С. 74–93.

11. Использование эффективных сейсмических моделей сред при работах ГСЗ на опорных профилях в Восточной части России / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 4. – С. 74–86.

12. К использованию поперечных волн на опорных профилях на Востоке России / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь-2015. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – С. 243–247.

13. Кашубин С. Н. Сейсмическая анизотропия и эксперименты по ее изучению на Урале и Восточно-Европейской платформе. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 182 с.

14. Месторождения металлических полезных ископаемых // В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев и др. – М.: Академический проект, 2005. – С. 198–205.

15. Недра Байкала (по сейсмическим данным) / ред. Н. Н. Пузырев. – Новосибирск: Наука, 1981. – 105 с.

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

17. Схема металлогенического районирования России. М-б 1:5 000 000 // ред. Н. В. Межеловский; сост. Г. С. Гусев. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 162 с.

REFERENCES

1. Aleynikov A.L., Nemzorov N.I., Kashubin S.N. *Sposob opredeleniya tipa gornyx porod po seysmicheskim dannym* [The way to determine a type of rocks on seismic data]. Certificate of authorship SU1642416 A1 cl. G 01 V1/30, 15.04.1991. (In Russ.).

2. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [The use of effective seismic medium models in DSS operations on base lines in the Eastern part of Russia]. *Geologiya i mineral'no-syryevye resursy Sibiri – Geology*



and mineral resources of Siberia, 2014, no. 4, pp. 74–86. (In Russ.).

3. Kashubin S.N., Petrov O.V., Milshteyn E.D., et al. [The deep structure of the earth's crust and upper mantle of Northeastern Eurasia]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2018, no. 76, pp. 9–21. (In Russ.).

4. Solovyev V.M., Salnikov A.S., Seleznev V.S., et al. [Deep seismic studies on the Baikal-Patom fragment of the Eastern section of the base line 1-SB]. *Interexpo Geo-Sibir* [Interexpo Geo-Siberia]. 2017, vol. 3, pp. 106–112. (In Russ.).

5. Starchenko V.V., ed. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii m-b 1:1000 000 (tret'e pokolenie): ob'yasnitel'naya zapiska. Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List M-50 – Borzya* [State geological map of the Russian Federation, scale 1: 1 000 000 (third generation): explanatory note. Aldan-Transbaikal Series. Sheet M-50 – Borzya]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 553 p. (In Russ.).

6. Rudenko V.E., Starchenko V.V., eds. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List: N-50 (Sretensk)*. [State geological map of the Russian Federation, scale 1: 1 000 000 (third generation). Aldan-Transbaikal Series. Sheet: N-50 (Sretensk)]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 377 p. (In Russ.).

7. Erinchek Yu.M., Lipilin A.V., Serzhantov R.B., et al. [State network of base geological and geophysical lines, parametric and ultradeep wells]. *Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu akademika N.N. Puzyreva* [Collection of reports of the international scientific conference dedicated to the 100th anniversary of academician N.N. Puzyrev]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2014, pp. 282–288. (In Russ.).

8. Krylov S.V., Mishenkin B.P., Mishenkina Z.R., et al. *Detal'nye seismicheskie issledovaniya litosfery na R-i S- volnakh* [Detailed P- and S-wave seismic studies of the lithosphere]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993. 199 p. (In Russ.).

9. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Duchkov A.D., Liseykin A.V. [Deformation-strength zoning of the Earth's crust of the Altai-Sayan folded region]. *Problemy seismologii III tsysacheletiya. Materialy mezhdunarod-*

noy konferentsii [Problems of seismology of the III Millennium. Proceedings of the international conference]. Novosibirsk, 2003, pp. 332–337. (In Russ.).

10. Mishenkin B.P., Mishenkina Z.R., Petrik G.V., et al. [Deep seismic sounding of the Earth's crust and upper mantle in the Baikal rift zone]. *Fizika Zemli – Physics of the Solid Earth*, 1999, no. 7–8, pp. 594–611.

11. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [Effective seismic models of media used in DSS operations on base lines in Eastern Russia]. *Geologiya i mineral'no-syryevye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no. 4, pp. 74–86. (In Russ.).

12. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [To the use of transverse waves on the base lines in the East of Russia]. *Interexpo Geo-Sibir'–2015*. [Interexpo Geo-Siberia-2015]. Novosibirsk, SGUGIT Publ., 2015, vol. 2, pp. 243–247. (In Russ.).

13. Kashubin S.N. *Seismicheskaya anizotropiya i eksperimenty po ee izucheniyu na Urale i Vostochno-Evropeyskoy platforme* [Seismic anisotropy and experiments on its study in the Urals and the East European Platform]. Ekaterinburg, Ural Branch of the RAS Publ., 2001. 182 p. (In Russ.).

14. Avdonin V.V., Boytsov V.E., Grigoryev V.M., Seminskiy Zh.V., et al. *Mestorozhdeniya metallicheskih poleznykh iskopaemykh* [Metallic mineral deposits]. Moscow, Akademicheskii projekt Publ., 2005, pp. 198–205. (In Russ.).

15. Puzyrev N.N., ed. *Nedra Baykala (po seismicheskim dannym)* [Baikal subsoil (according to seismic data)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 105 p. (In Russ.).

16. Petrov O.V., Morozov A.F., Molchanov A.V., et al. [The forecast-minerogenic map of Russia of 1: 2,500,000 scale as a reflection of the forecasting and exploration efficiency of regional geological research]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2017, no. 70, pp. 5–16. (In Russ.).

17. Mezhelovskiy N.V., ed. *Prognozno-minerogicheskaya karta: Skhema metallogenicheskogo rayonirovaniya Rossii, masshtab: 1:5 000 000* [Forecast-minerogenic map: Scheme of metallogenetic zoning of Russia, scale 1: 5,000,000. Moscow, IMGRE Publ., 2002. 162 p. (In Russ.).

© В. М. Соловьев, Н. А. Галёва, А. С. Сальников, В. С. Селезнев, А. В. Лисейкин, Т. В. Кашубина, Д. В. Вяткина, 2019



МЕТОД ОЦЕНКИ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ОТСЧЕТОВ МНОГОМЕРНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С КОНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

С. Ф. Свинын¹, Г. М. Тригубович², А. В. Чернышев², В. Ф. Свинын³

¹Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия; ²ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», Новосибирск, Россия; ³Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия

Приведено теоретическое обоснование и описана экспериментальная проверка одного из подходов к оценке необходимой и достаточной пространственной плотности сети наблюдений в геофизике. Результаты позволяют сделать количественные оценки сравнительной эффективности восстановления сигналов при различной густоте сети наблюдений для двумерного случая. В рамках предложенного подхода к обработке сигналов, который может быть назван энергетическим, в отличие от более распространенного амплитудного, вычисляется двумерный спектр суммарной энергии сигнала на пространственной сетке наблюдений при различных дискретизациях. Это дает возможность выбрать оптимальный вариант пространственной сети по введенному критерию энергии. Метод позволяет сделать это для обеих пространственных координат отдельно. Применимость предложенного подхода рассматривается для методов электроразведки воздушного и наземного базирования на ограниченном числе моделей и фактических данных. Результаты дают основание для дальнейших исследований в указанном направлении.

Ключевые слова: сетка наблюдений, шаг дискретизации, пространственная плотность наблюдений, геофизическая разведка, теория обработки данных, сплайн-функции, вейвлеты, энергетический подход.

METHOD FOR EVALUATING THE RATIONAL DENSITY OF MULTIDIMENSIONAL FINITE ENERGY GEOPHYSICAL SIGNALS

S. F. Svinyin¹, G. M. Trigubovich², A. V. Chernyshev², V. F. Svinyin³

¹Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia; ²Aerogeofizicheskaya razvedka, Novosibirsk, Russia; ³Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The article is devoted to the theoretical justification of one of the methods for processing geophysical exploration data (using aeromagnetic observations as an example), the results of which allow us to make quantitative estimates of the comparative efficiency of signal reconstruction at different densities of the observation network for a two-dimensional case. Within this approach, in the theory of signal processing (which can be called an energy one in contrast to the more common an amplitude one), a two-dimensional spectrum of the total signal energy on a spatial grid is calculated at various sampling intervals, which makes it possible to choose the optimal variant of network density according to the accuracy/cost criterion. The method will allow this to be done separately for both spatial coordinates. The applicability of the method for various types of electrical exploration is considered presumably on a limited number of models and evidence, and the results provide the basis for further research in this direction.

Keywords: airborne geophysical exploration, data processing theory, spline functions, wavelets, energy approach, observation network, sampling interval.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-72-79

Постановка задачи

Главным критерием эффективности геофизических исследований с точки зрения выбора масштаба поисково-оценочных исследований в рамках существующих физических предпосылок является контрастность, характеризующая отношение сигнал/помеха и ширину аномалии. При выборе методики исследований всегда возникает вопрос: что целесообразнее – мелкомасштабная высокоточная съемка или измерения с высокой пространственной плотностью в надежде получить более контрастный отклик от поискового объекта. До настоящего времени не существует общепринятых и теоретически обоснованных количественных методов такой оценки.

В предлагаемой статье обоснована возможность использования такой оценки на основе оригинального подхода в теории обработки сигналов

(который может быть назван энергетическим в отличие от более распространенного амплитудного), разработанного одним из авторов статьи [6]. Основу метода составляет вычисление двумерного спектра суммарной энергии сигнала на пространственной сетке наблюдений при различных шагах дискретизации, что дает возможность выбрать оптимальный вариант густоты сети по критерию точность/затраты. Метод позволяет сделать это для обеих пространственных координат отдельно. Его применимость для электроразведки рассматривается на ограниченном числе моделей и фактических данных, и результаты дают основание для дальнейших исследований. В качестве проверки эффективности выдвинутого критерия использован метод прямого физико-математического моделирования для конкретно установленной поисковой модели.

Теория метода

Более 100 лет многие математики, физики и инженеры занимаются изучением соотношения свойств непрерывности и дискретности сигналов от объектов реального физического мира, поступающих на вход приборов и систем. Согласно принципу неопределенности В. Гейзенберга, открытому в 1927 г. применительно к частицам микромира, не могут быть одновременно точно измерены координаты частицы и ее скорость (импульс количества движения) [10]. В общей теории связи в 1930–1940-х гг. исследовался аналогичный принцип, названный соотношением неопределенности для сигналов – функций времени $f(t)$ и отражавший тот факт, что не могут быть одновременно точно измерены длительность сигнала и ширина полосы его спектра. Эти исследования обобщены в книге акад. А. А. Харкевича [7]. В современной математике данное соотношение приводится в виде неравенства [1]

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^2 |f(t)|^2 dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |F(\omega)|^2 d\omega \geq \frac{1}{4} \|f\|^4, \quad (1)$$

где ω – круговая частота сигнала; $F(\omega)$ – преобразование Фурье функции $f(t)$, отражающее динамические свойства сигнала; $\|f\|$ – норма функции $f(t)$ в пространстве L^2 .

В первой трети XX в. аналитически решалась задача точного восстановления целых функций по информации о них, заданной только в дискретных узлах независимой переменной t . Были доказаны теоремы [8, 12], утверждавшие, что можно абсолютно точно восстановить функцию путем разложения ее в бесконечный так называемый кардинальный ряд вида

$$f(t) = R(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f(ih) \frac{\sin(t-ih)}{h}, \quad h > 0, \quad (2)$$

где i – текущий номер члена ряда R ; h – расстояния между дискретными узлами аргумента.

Дробная часть функции в формуле (2) получила

обозначение $\text{sinc}(t) = \sin(t-ih)/h$.

Реальные сигналы имеют конечную длительность, что порождает ошибки при восстановлении в соответствии с формулой (2). Ошибки могут быть сведены к минимуму, если при восстановлении сигналов воспользоваться положениями теории функций с конечной энергией (мощностью) P . Для функций одного аргумента это условие формулируется

в виде $P = \int_a^b |f(t)|^2 dt < \infty$, где $a < \infty$; $b < \infty$; $|f|$ – модуль

функции, и теория для функции, заданной на компактном носителе x , дает возможность представить ее в виде конечной суммы финитных базисных функций. К таким функциям относятся базисные сплайны [4], сплайн-вейвлеты [9] и вейвлеты [1].

В частности, базисные сплайны (В-сплайны) представляют собой финитные кусочно-полиномиальные функции целой степени $m \geq 0$, определенные на компактных носителях. Они линейно независимы на (a, b) и отличаются от нуля на интервалах длиной $l = (m+1)h$. Свойство ортогональности необязательно, но такие базисы порождают ортонормированные системы сплайн-вейвлетов и часто называются полуортогональными [9].

Для аппроксимации функции $f(t)$ класса L^2 (интегрируемого с квадратом) последовательностью В-сплайнов (рис. 1) должны быть заданы $2m$ дополнительных узлов за пределами интервала (a, b) , и тогда функция может быть представлена в виде суммы

$$f(t) \cong \sum_{i=-m}^{n+m-1} b_i B_{m,i}(t),$$

где b_i – коэффициенты разложения функции в ряд по В-сплайнам; n – число отсчетов функции на отрезке (a, b) .

В-сплайны степеней $m \geq 1$ могут быть построены по рекуррентной формуле, содержащей сплайны более низких степеней (рис. 1):

$$B_m(t) = B_{m-1}(t)B_0(t) = \int_{-\infty}^{\infty} B_{m-1}(\tau)B_0(t-\tau)d\tau.$$

В зависимости от метода аппроксимации сплайны делятся на интерполяционные и сглаживающие. В общем случае для вычисления

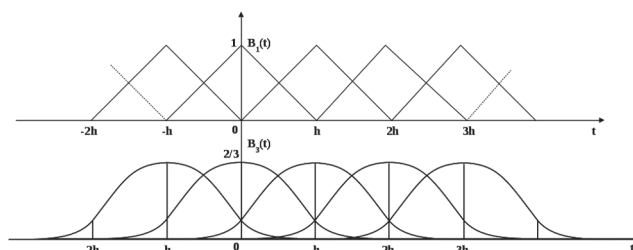


Рис. 1. Графики последовательностей В-сплайнов нечетных степеней $m = 1$ и $m = 3$

b -коэффициентов интерполяционных сплайнов требуется решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Наряду с данным вариантом для получения этих коэффициентов широко применяются так называемые локальные сглаживающие формулы фильтрации, не требующие решения СЛАУ [2, 4]. В итоге значительно сокращается время цифровой обработки последовательности отсчетов, причем точность результата остается того же порядка.

Спектральные свойства В-сплайнов описываются формулами вида

$$F_{B,m}(\omega) = Ah \left(\frac{\sin(\omega h/2)}{\omega h/2} \right)^{m+1}, \quad (3)$$

где A – магнитуда В-сплайна; h – расстояние между узлами; ω – частота.

По виду они напоминают функцию $\text{sinc}(t)$ в формуле (1), но главное отличие состоит в том, что выражение в скобках в формуле (3) возводится в целую степень. На рис. 2 приведены графики спектральных плотностей одномерных В-сплайнов 1-й и 3-й степени для положительных значений аргумента, откуда следует, что спектр кубического В-сплайна убывает с большой скоростью при $\omega \rightarrow \infty$.

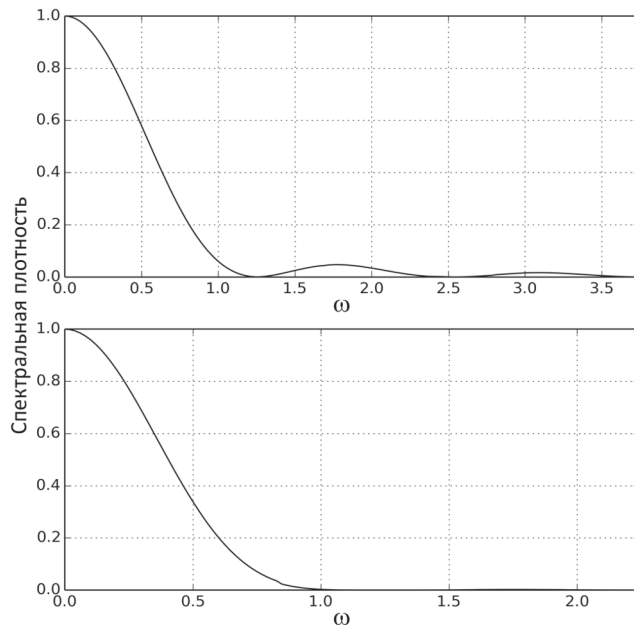


Рис. 2. Графики спектральных плотностей В-сплайнов

В-сплайны образуют естественную систему базисных функций, обладающую собственной решеткой внутренних дискретных узлов интерполяции. Нулевые значения $\omega_c = \pi/h$ могут быть таковыми и для спектральной плотности $F_m(\omega)$ последовательности В-сплайнов, каждый из которых сдвинут по отношению к соседнему элементу базиса на значение шага выборки h . Формула для модуля спектральной плотности $F(\omega)$ последовательностей принимает вид [6]

$$F(\omega) = |F_{B_0}(\omega)| \left| \sum_{i=-m}^{n+m} b_i \exp(-j\omega h) \right|,$$

где B_0 – начальный В-сплайн; b_i – коэффициенты разложения функции по В-сплайнам; j – мнимая единица.

Принципы аналого-цифрового преобразования многомерных сигналов существенно отличаются от таковых при преобразовании одномерных данных. Основные отличия заключаются в том, что при увеличении размерности измеряемых данных значительно возрастает объем числовой информации и усложняются математические методы обработки, вследствие чего, как правило, увеличиваются ошибки преобразования и вычислений.

Во-первых, практически для большинства многомерных сигналов их значения известны только для конечной области носителя, т.е. плоскости или пространства. Наиболее распространена теория Д. Питерсена и Д. Миддлтона [11], которая утверждает, что для повышения точности обработки

многомерных данных нужно использовать не только отсчеты в точках пространства, но и значения градиента поля. Вторая особенность – существование конфигураций решеток дискретизации, более эффективных, чем прямоугольная, например ромбовидные и гексагональные решетки. Эффективность здесь понимается в том смысле, что для полного восстановления информации расстояния между отсчетами можно брать менее частыми, чем при применении прямоугольных решеток. Третий важный момент – идея сохранения принципа финитности многомерного спектра, т.е. ограничения области волновых чисел вокруг начала координат.

Таким образом, из всех возможных конфигураций матриц дискретизации сигналов с финитным спектром преобладают два варианта – применение либо прямоугольных, либо гексагональных решеток. Термин «гексагональные решетки» означает,

что задано соотношение $h_y = h_x \sqrt{3}$ и каждый отсчет

выступает центром некоторой окружности, имея шесть ближайших соседей. Строки раstra повторяются через одну, причем нечетные сдвигаются относительно четных на половину интервала. По существу, гексагональная фигура вписывается в круг (в трехмерном случае – в шар) и требует меньше отсчетов, чем прямоугольная (кубическая). Превращение непрерывного сигнала в последовательность импульсов позволяет решить проблему периодического продолжения сигнала на все пространство носителя, в частности в двумерном случае – на всю плоскость (x, y) . Этот прием ведет, в свою очередь, к необходимости периодического продолжения спектра Фурье также на всю плоскость (или на объем пространства) волновых чисел [3].

Традиционным и наиболее простым способом формирования многомерных выборок сигнала является прямоугольная дискретизация, когда носителями информации на плоскости являются квадраты, прямоугольники, а в пространствах большей размерности – параллелепипеды, гиперкубы и т.п.

Можно доказать, что метод разложения финитных областей пространств по конечным суммам финитных базисных элементов при увеличении количества последних обеспечивает предельно высокую точность восстановления многомерных непрерывных сигналов.

Допустим, что область определения функций нескольких переменных (ФНП) представляет собой N -мерное евклидово пространство R_N , а области носителей функций представляют собой геометрические формы (квадраты, прямоугольники, кубы, параллелепипеды и т.п.). Включение границ превращает их в компактные множества. Пространство вещественных функций, определенных на области

D и удовлетворяющих условию $\iint_D f^2(x, y) dx dy < \infty$,

называется пространством функций, интегрируемых с квадратом, и обозначается $L_2[D]$. Обозначим через x_i и x_{i+1} соответственно начальную и конечную точки произвольного элементарного отрезка с номером i на оси x , а через y_k и y_{k+1} – начальную и конечную точки элементарного отрезка с номером k на оси y . Эти точки определяют координаты вершин элементарных прямоугольников D_{ik} , принадлежащих к области D .

На рис. 3 приведены пространственные графики билинейного и бикубического В-сплайнов (для них степени равны 1 и 3 соответственно).

Многомерные В-сплайны, так же как их спектральные Фурье-отображения, обладают свойством *сепарабельности*, т.е. возможности представления их как ФНП в виде комбинаций функций одной переменной [6]. Запишем, например, разложение функции двух переменных $f(x, y)$ в виде билинейной суммы двумерных В-сплайнов:

$$f(x, y) \cong \sum_{i=-1}^{n_x+1} \sum_{k=-1}^{n_y+1} b_{ik} B_{m,i}(x) B_{m,k}(y),$$

где n_x и n_y – числа отсчетов значений поля по осям x и y соответственно; b_{ik} – b – коэффициенты раз-

ложения функции; $B_{m,i}(x)$, $B_{m,k}(y)$ – одномерные В-сплайны степени m по каждой из координат.

В результате преобразований Фурье двумерных В-сплайнов получаются выражения вида:

$$F_{B_0}(\omega_x, \omega_y) = B_0 h_x h_y \left(\frac{\sin(\omega_x h_x / 2)}{(\omega_x h_x / 2)} \right)^{m+1} \left(\frac{\sin(\omega_y h_y / 2)}{(\omega_y h_y / 2)} \right)^{m+1},$$

где B_0 – магнитуда В-сплайна, расположенного в начале координат, т.е. имеющего индексы по осям $i = 0, k = 0$; h_x и h_y – шаги выборки по аргументам x и y .

Равенство Парсеваля для непрерывных сигналов – функций двух переменных, заданных на компактном носителе, который имеет форму прямоугольника, принимает вид

$$\int_a^b \int_c^d f^2(x, y) dx dy = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} |F(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (4)$$

Выражение для модуля спектральной плотности двумерной последовательности В-сплайнов описывается двойной суммой [9, 11]:

$$|F_{\Sigma B}(\omega_x, \omega_y)| = |F_{B_0}(\omega_x, \omega_y)| \times \left| \sum_{i=0}^{n_x} \sum_{k=0}^{n_y} b_{ik} \exp(-ji\omega_x h_x) \exp(-jk\omega_y h_y) \right|, \quad (5)$$

где F_{B_0} – спектр В-сплайна с индексами $i = k = 0$; n_x и n_y – количество дискретных отсчетов значений поля по осям x и y соответственно.

Значение спектральной энергии поля P_ω может быть вычислено с высокой степенью приближения по отношению к значению левой части равенства Парсеваля по формуле (4) как двукратный интеграл от модуля спектральной плотности, интерполирующей последовательность (5) на всем квадранте положительных значений волновых чисел (ω_x, ω_y):

$$P_\omega = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} |F_{\Sigma B}(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (6)$$

Задача сравнительной оценки плотности сети наблюдений при аэромагнитной съемке

В качестве примера применения метода конечных базисных функций для восстановления пространственных форм по дискретным отсчетам, в том числе для исследования аномалий, приведем задачу измерения магнитных свойств горных пород и руд. Применение этого вида съемки зависит от многих факторов, например, точности измерений, высоты полета, межмаршрутных расстояний и т.д. Обычно предварительно осуществляется аэромагнитная съемка мелкого масштаба (1:200 000) с целью составления карт магнитного поля и последующего выделения перспективных площадей по геологическим и геофизическим признакам [5].

Рассмотрим задачу интерполяции магнитного поля последовательностью двумерных билинейных базисных сплайнов. Возьмем пространственную

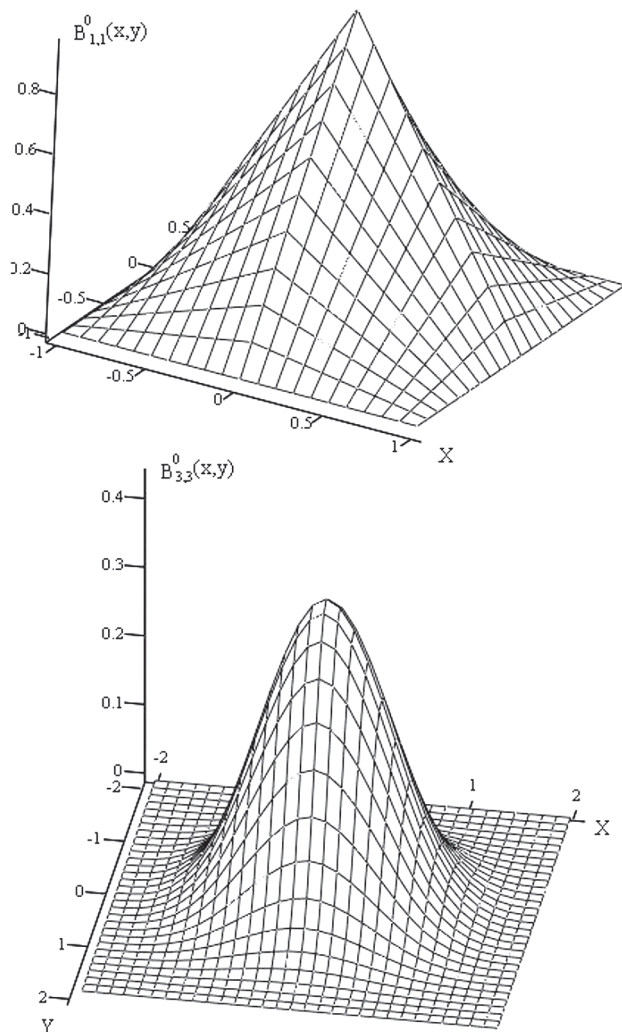


Рис. 3. Графики В-сплайнов

картину поля, построенную по результатам измерений в дискретных точках, которые образуют квадрат размерностью $n_x \times n_y = 300 \times 300$ отсчетов (рис. 4).

Расстояние между соседними отсчетами составляет $h_x = h_y = 0,2$ км. Таким образом площадь элементарного квадрата равна $h_x \times h_y = 0,2 \times 0,2 = 0,04$ км². Выделим внутри поля квадрат размерностью 80×80 элементов. По оси x поля он будет включать отсчеты с номерами с 1 по 81, а по оси y – с номерами с 81 по 161.

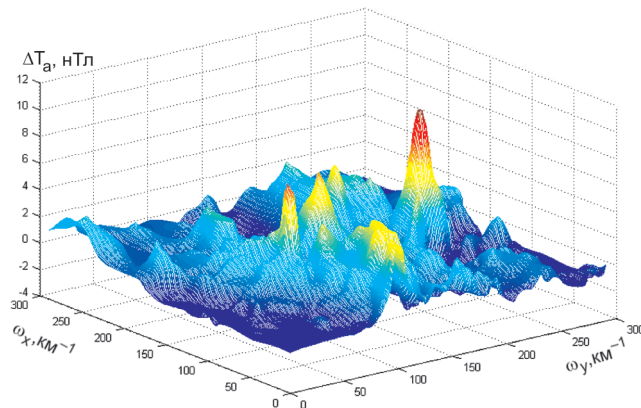


Рис. 4. Пространственный график магнитного поля ΔT_a

Спектральная энергия выделенного участка поля оценивается по формуле (6) с учетом того, что поле является конечным по размерам и его энергия (пространственная или спектральная) конечна. Следовательно, пределы интегрирования квадрата спектральной плотности должны быть конечны:

$$P_\omega = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\pi/h_x} \int_0^{\pi/h_y} |F_{\Sigma\Omega}(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (7)$$

График двумерного спектра последовательности билинейных базисных сплайнов, интерполирующих магнитное поле на выделенном квадрате, приведен на рис. 5.

Полное значение спектральной энергии отсчетов на квадрате, содержащем $80 \times 80 = 1600$ отсчетов, вычисленное на основании теоремы Парсеваля, равно $1,4942415 \cdot 10^3$. Результаты расчетов при различных параметрах выборки приведены в табл. 1.

В результате можно прийти к следующим видам.

1. Предложен метод определения частот дискретных выборок, которые необходимы для восстановления сигналов с точностью до ϵ . Он основан на применении теории сигналов с конечной энергией (функций, интегрируемых с квадратом) и использует разложения одномерных и многомерных сигналов по финитным базисам (сплайны, сплайн-вейвлеты), не требуя финитности спектра. Скорость затухания спектра в области высоких частот или больших значений волновых чисел растет с увеличением степени базисных функций.

2. Приведенный пример дискретизации двумерного геомагнитного поля свидетельствует о возможности распространения метода конечной энер-

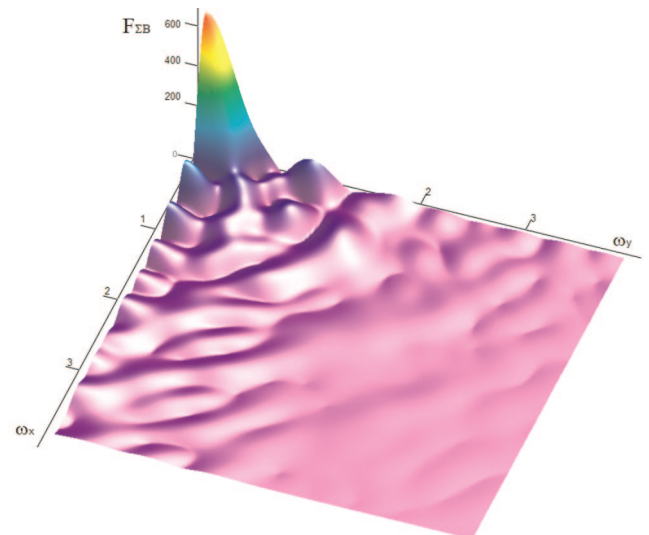


Рис. 5. Пространственный спектр последовательности билинейных В-сплайнов

Таблица 1

Результаты расчетов энергии по взятым последовательно выборкам

Шаг по оси, км		Значение энергии спектра суммы отсчетов по формуле (6), усл. ед.	Разность между полной энергией и энергией спектра отсчетов, усл. ед.
x	y		
0,8	0,8	$1,42320011 \cdot 10^3$	$0,07104 \cdot 10^3$
0,4	0,4	$1,4477530 \cdot 10^3$	$0,04649 \cdot 10^3$
0,2	0,2	$1,4692972 \cdot 10^3$	$0,02494 \cdot 10^3$

гии на объемы данных большей размерности. Для этого потребуется вычисление, в частности, трехкратных интегралов.

3. Носителями многомерных сигналов с конечной энергией могут служить не только квадраты, кубы, но и прямоугольники, параллелепипеды и т. п.

4. Медленная сходимость энергии совокупности дискретных отсчетов (см. табл. 1) с полной энергией при уменьшении величин шагов объясняется невысокой степенью использованных базисных функций (кусочно-линейные «функции-пагоды»). Для повышения скорости сходимости необходимо перейти к сплайнам и вейвлетам более высоких степеней.

Предварительные оценки применимости метода в задачах электроразведки для различных моделей среды

Рассмотрим возможность применения метода В-сплайнов для восстановления пространственных форм и контрастности проявления поискового объекта по дискретным разномасштабным измерениям на примере выделения аномалий для физико-математической модели, сформированной по результатам плотной пространственно-временной сети наблюдений глубинной электроразведки 3D-ЗСБ

На рис. 6 приведена модель, характеризующаяся неоднородным строением верхней части разреза

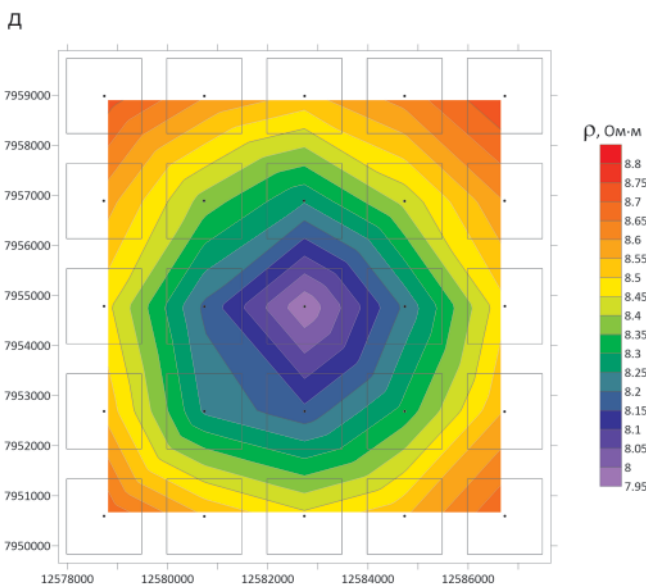
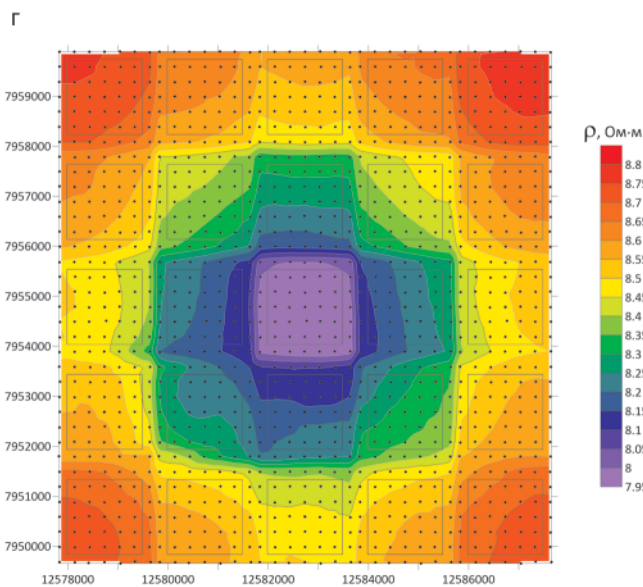
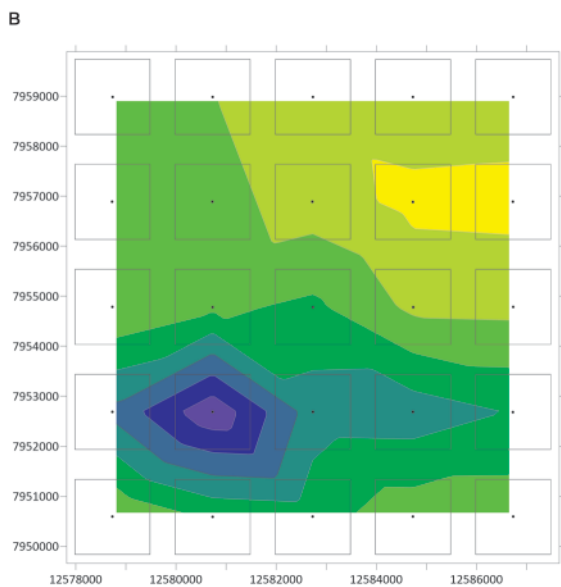
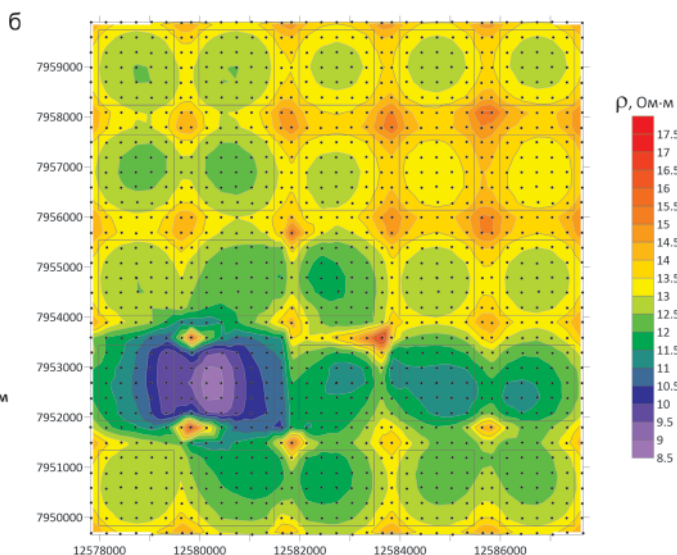
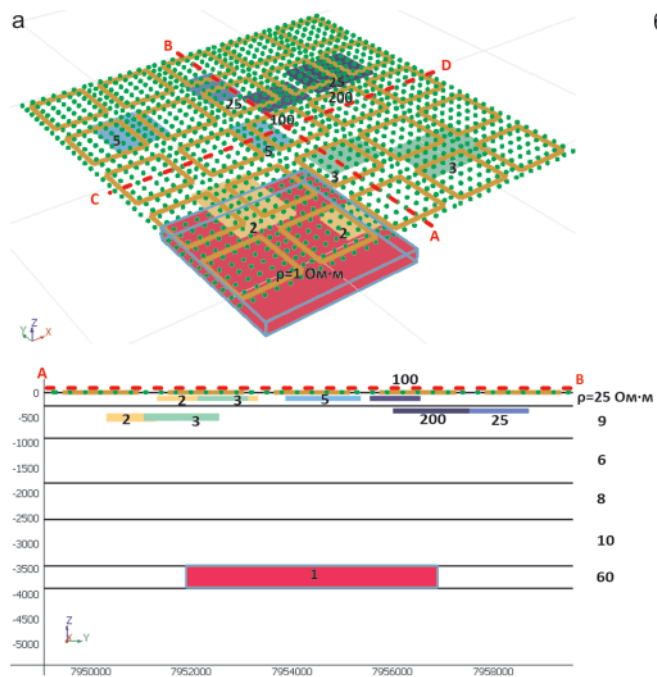


Рис. 6. Оценка сходимости энергии совокупности дискретных отсчетов к полной энергии для модели, сформированной по результатам плотной пространственно-временной сети наблюдений глубинной электроразведки 3D-ЗСБ: а – модельный разрез; б–д – карты кажущегося удельного сопротивления: б – на времени 100 мс с шагом 300 м; в – на времени 100 мс с шагом 2000 м, г – на времени 2000 мс с шагом 300 м, д – на времени 2000 мс с шагом 2000 м

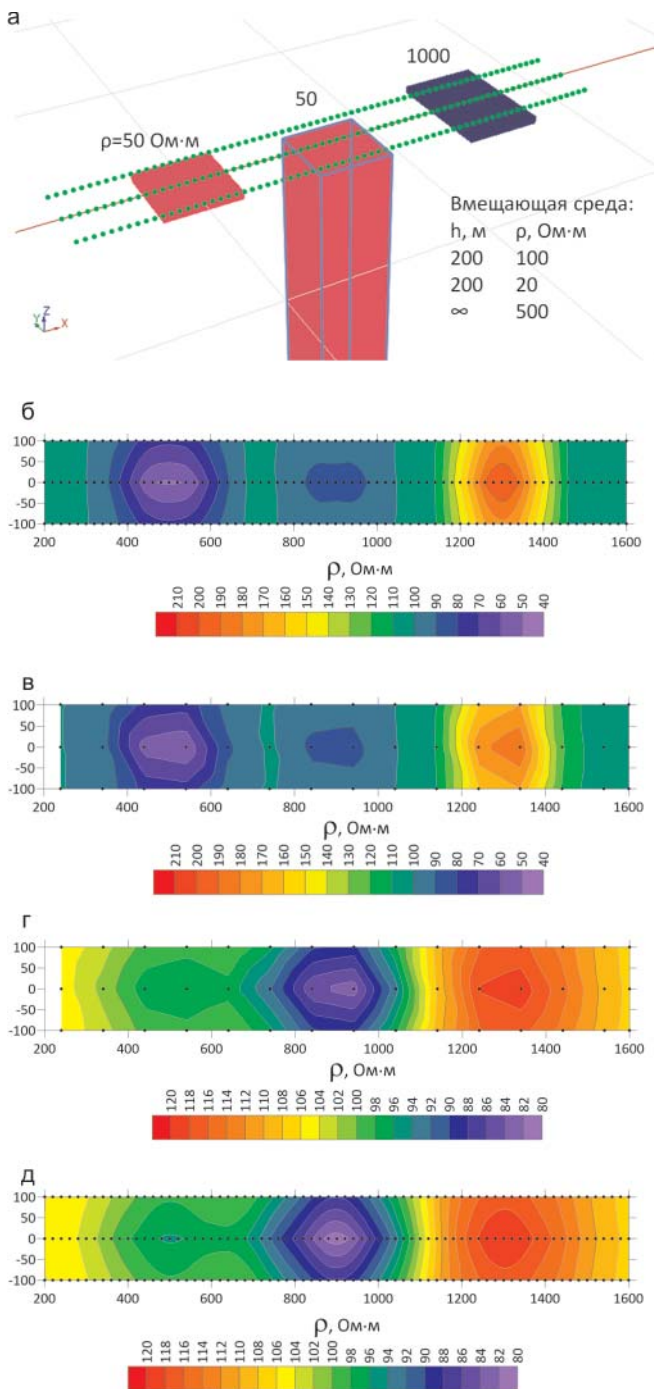


Рис. 7. Оценка сходимости энергии совокупности дискретных отсчетов к полной энергии для модели кимберлитовой трубки: а – модель; б–д – карты кажущегося удельного сопротивления: б – на времени 20 мкс, шаг наблюдений 20 м, в – на времени 20 мкс, шаг наблюдений 100 м, г – на времени 200 мкс, шаг наблюдений 20 м, д – на времени 200 мкс, шаг наблюдений 100 м

до глубины 500 м и поисковым целевым объектом в интервале 3500–4000 м. На рис. 6 приведены планы распределения удельного сопротивления на времени 100 и 2000 мс по данным 1D-интерпретации с шагом съемки 300 м 2000 м.

Рассмотрим влияние шага съемки на вычисляемую энергию (табл. 2).

Как видно из табл. 2, приемлемые результаты получаются при шаге съемки до 2000 м, что визу-

ально подтверждено на площадном распределении электрического сопротивления, изображенного на рис. 6, д.

Рассмотрим физико-математическую модель кимберлитовой трубки, залегающей в горизонтально-слоистой геологической среде с двумя неоднородностями в верхней части разреза (рис. 7).

Таблица 2

Зависимость энергии от шага съемки

Шаг, км	Е, усл. ед.	Е/Е(0,3),%
На времени 100 мс		
0,3	1,6455e+010	–
0,6	1,6567e+010	0,68
1	1,6812e+010	2,17
12	1,8696e+010	13,6
На времени 2000 мс		
0,3	7,1340e+09	–
0,6	7,1402e+09	0,087
1	7,1176e+09	0,23
2	7,1056e+09	0,4

Таблица 3

Зависимость энергии от шага съемки

Шаг, км	Е, усл. ед.	Е/Е(0,3),%
На времени 20 мкс		
20	2,8150e+09	–
60	2,8090e+09	0,21
100	2,6189e+09	6,7
200	1,9171e+09	32
На времени 200 мкс		
20	3,1278e+09	–
60	3,0708e+09	1,8
100	2,9867e+09	4,5
200	2,8336e+09	9,4

Как видно из рис. 7 и табл. 3, приемлемые результаты получаются при шаге съемки до 100 м, таким образом, сеть наблюдений по сравнению со стартовым шагом съемки 20 м может быть многократно разрежена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. – М.: Техносфера, 2006. – 272 с.
2. Гребенников А. И. Метод сплайнов и решение некорректных задач теории приближений. – М.: МГУ, 1983. – 206 с.
3. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
4. Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л. Методы сплайн-функций. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
5. Логачев А. А., Захаров В. П. Магниторазведка. 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1973. – 351 с.



6. Свиныин С. Ф. Теория и методы формирования выборок сигналов с инфинитными спектрами. – СПб.: Наука, 2016. – 71 с.

7. Харкевич А. А. Спектры и анализ. – М.; Л.: Гостехиздат, 1952. – 192 с.

8. Хургин Я. И., Яковлев В. П. Методы теории целых функций в физике и технике. – М.: Наука, 1971. – 408 с.

9. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. – 412 с.

10. Heisenberg W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik // Zeitschrift für Physik. – 1927. – Vol. 43, no. 34. – P. 172–198.

11. Petersen D., Middleton D. Sampling and reconstructions of wave-number-limited functions in N-dimensional Euclidean spaces // Information and Control. – 1962. – Vol. 5. – P. 279–323.

12. Whittaker E. On the functions which are represented by Expansions of the Interpolation Theory / Proc. Roy. Soc. – 1915. – Vol. 35. – P. 181–194.

REFERENCES

1. Blatter K. *Veyvlet-analiz. Osnovy teorii* [Wavelet analysis. Fundamentals of the theory]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 272 p. (In Russ.).

2. Grebennikov A.I. *Metod splaynov i reshenie nekorrektnykh zadach teorii priblizheniy* [Spline method and solving incorrect problems of the approximation theory]. Moscow, State University Publ., 1983. 206 p. (In Russ.).

3. Dudgeon D.P., Mersereau R.M. *Tsifrovaya obrabotka mnogomernykh signalov* [Multidimensional

Digital Signal Processing]. Moscow, Mir Publ., 1988. 488 p. (In Russ.).

4. Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L. *Metody splayn-funktsiy* [Spline Function Methods]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 352 p. (In Russ.).

5. Logachev A.A., Zakharov V.P. *Magnitorazvedka* [Magnetic exploration]. Leningrad, Nedra Publ., 1973. 351 p. (In Russ.).

6. Svinin S.F. *Teoriya i metody formirovaniya vyborok signalov s infinitnymi spektrami* [Theory and methods of signal sampling with infinite spectra]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2016. 71 p.

7. Kharkevich A.A. *Spektry i analiz* [Spectra and analysis]. M.-L., Gostekhizdat Publ., 1952. 192 c. (In Russ.).

8. Khurgin Ya.I., Yakovlev V.P. *Metody teorii tselykh funktsiy v fizike i tekhnike* [Methods of the theory of entire functions in physics and technology]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 408 p. (In Russ.).

9. Chui Ch. *Vvedenie v veyvlety* [Introduction to Wavelets]. Moscow, Mir Publ., 2001. 412 p. (In Russ.).

10. Heisenberg W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*, 1927, vol. 43, no. 34, pp. 172–198.

11. Petersen D., Middleton D. Sampling and reconstructions of wave-number-limited functions in N-dimensional Euclidean spaces. *Information and Control*, 1962, vol. 5, pp. 279–323.

12. Whittaker E. On the functions which are represented by expansions of the Interpolation theory. *Proc. Roy. Soc.*, 1915, vol. 35, pp. 181–194.

© С.Ф.Свиныин, Г.М.Тригубович, А.В.Чернышев,
В.Ф.Свиныин, 2019



УДК (550.834+550.34.09):550.82

О МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОМ ОТКЛИКЕ СРЕДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Е. А. Хогоев¹, Е. Е. Хогоева^{1,2}, М. Л. Шемякин²¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Приведены результаты анализа спектра микросейсмического шума, выделяемого на сейсмограммах стандартной сейсморазведки на трассах с большими удалениями от пункта взрыва. Установлено явление микросейсмического отклика среды: усиление тех же частот, что регистрируются в невозмущенном поле микросейсм, которое регистрируется после прибытия основной пачки волн, генерированных взрывом. Определены оптимальные параметры окна анализа для выделения микросейсмического отклика геосреды, возникающего после прохождения генерированных взрывом волн. Приведен пример использования микросейсмического отклика среды при поисках месторождений углеводородов.

Ключевые слова: пассивная сейсмика, микросейсм, сейсмограммы, сейсмическая эмиссия.

ON THE MICROSEISMIC MEDIUM RESPONSE AND POSSIBILITY OF ITS USE IN THE EXPLORATION OF HYDROCARBON FIELDS

E. A. Khogoev¹, E. E. Khogoeva^{1,2}, M. L. Shemyakin²¹A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²National Research Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

The article presents spectral analysis results of microseismic noise identified on seismogram traces of standard seismic surveys on long offsets. The phenomenon of microseismic medium response is revealed, i. e. amplification of the same frequencies that are recorded in the undisturbed microseism field, namely, in the field recorded after the arrival of the main wave packet generated by the explosion. Optimal parameters of the analysis window are determined to distinguish the microseismic response of a geological medium that occurs after the propagation of waves generated by the explosion. An example of using the microseismic medium response when searching for hydrocarbon fields is given.

Keywords: passive seismic, microseisms, seismograms, seismic emission.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-80-84

Одно из направлений пассивной сейсмики составляют методы, основанные на картировании интенсивности микросейсм для оконтуривания аномальных зон сейсмической эмиссии при поиске нефтегазовых месторождений.

Наиболее известна в этой области технология разведки АНЧАР и ее вариант НСЗ, работающие в диапазоне инфранизких частот (2–7 Гц) [1, 3]. Вместе с тем имеется достаточно фактов генерации микросейсмических шумов нефтегазовой залежью в сейсмическом диапазоне частот [2, 7, 8].

Возможность обнаружения залежей по эмиссии в сейсмическом диапазоне частот открывает перспективу использования огромного массива полевых материалов сейсморазведки для переработки и получения новых данных о среде. На первом этапе развития технологии исследования микросейсм на сейсморазведочном материале использовались участки трасс до первых вступлений волн от взрыва. При удалении пункта приема от источника более чем на 1,8–2 км (в зависимости от скоростного разреза) приблизительно первые 0,5 с записывается микросейсмический шум вместе с техногенными и природными помехами. Как правило, интервал группы составляет 50 м, т. е. плотность наблюдений на порядок выше, чем при специальном низкочастотном исследовании АНЧАР, что позволя-

ет отслеживать изменение спектра микросейсм по профилю и выделять участки регулярных спектральных аномалий [4, 5, 9–11].

Разработанная технология основывается на построении осредненного спектра микросейсм по профилю. После отбраковки трасс, на которых среднеквадратичная амплитуда сигнала превышает таковую по всему профилю, по известному критерию 3σ для каждой трассы рассчитывается амплитудный спектр. Затем спектры усредняются в точках приема. При сейсморазведочных работах методом многократных перекрытий запись в каждой точке приема производится десятки раз, что дает возможность накопить представительную выборку для осреднения.

Определим, какие участки сейсмограмм, кроме начала трасс при больших удалениях, допустимо использовать для анализа микросейсмических шумов. Мы используем данные по региональному сейсмопрофилю 80741999, проходящему близ Берямбинского месторождения газа, вдоль левого берега р. Ангара. Продолжительность записи 10 с, $dt = 2$ мс, шаг по приемникам $dx = 50$ м, до 118 трасс в сейсмограмме, т. е. удаления L до 2900 м. Протяженность профиля 68 км. В инт. 10–20 км он пересекает разломную зону, к которой приурочено Берямбинское месторождение. Длина трасс в отличие от обычной (4–5 с) позволяет провести расчеты при

нескольких значениях начального времени окна T_0 от 0 до 9,5 с. Длина окна анализа по времени во всех случаях около 0,5 с (256 отсчетов). Фрагмент типичной сейсмограммы приведен на рис. 1. Для примера прямоугольниками выделены два окна анализа: $L_0 = 2000$ м, $T_0 = 0$ с (А), $T_0 = 3,5$ с (Б). Далее на рисунках и в тексте указывается граничное (минимальное) удаление, с которого в расчет попадают трассы с удалением L таким, что $|L| > L_0$.

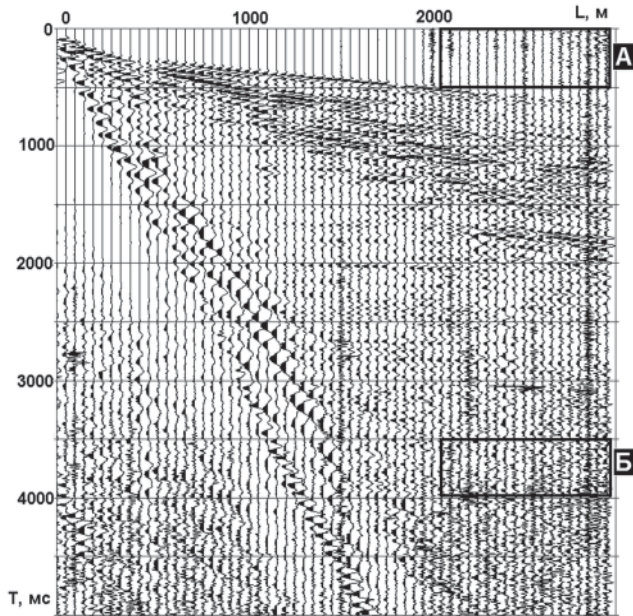


Рис. 1. Фрагмент типичной сейсмограммы, прямоугольниками (А, Б) выделены примеры окон анализа микросейсмического шума. Визуализация с АРУ, окно 1000 мс

Базовым мы полагаем результат при $T_0 = 0$ с. В этом случае волновое поле при $L > 2000$ м свободно от волн, генерированных взрывным источником, поскольку за 0,5 с они еще не достигли приемников на таком расстоянии.

На рис. 2 приведены примеры получаемых осредненных спектров микросейсм при $L_0 = 2000$ м с различным временем начала окна анализа, базовый результат – на рис. 2, а. Очевидно, существует локальная аномалия спектра на ПК 300–320 с максимумом на частоте, близкой к 10 Гц. Эта аномалия более выражена при значениях T_0 3,5 и 5 с (см. рис. 2, б, в). На поздних временах $T_0 = 9,5$ с результат практически неотличим от базового (см. рис. 2, г). Координаты аномалии соответствуют зоне пересечения профилем глубинного разлома.

Рассмотрим важный для нас вопрос о том, насколько изменяется разрешенность спектральной аномалии по различным временным окнам. Зафиксируем удаление $L_0 = 2000$ м и при T_0 0, 3,5 и 9,5 с получим осредненный спектр в интервале 300–320 пунктов приема (15–16 км профиля). На этом участке профиля на рис. 2 наблюдается небольшая локальная аномалия спектра. Результат расчетов приведен на рис. 3. Наблюдается один максимум около 10 Гц. При $T_0 = 0$ и $T_0 = 9,5$ с отмечается превышение в максимуме по сравнению со значениями в интервале 30–40 Гц примерно в 2 раза. При $T_0 = 3,5$ с это превышение достигает 5, что свидетельствует о существенном росте разрешенности аномалии.

Наше предположение заключается в том, что относительное увеличение максимума в экстрему-

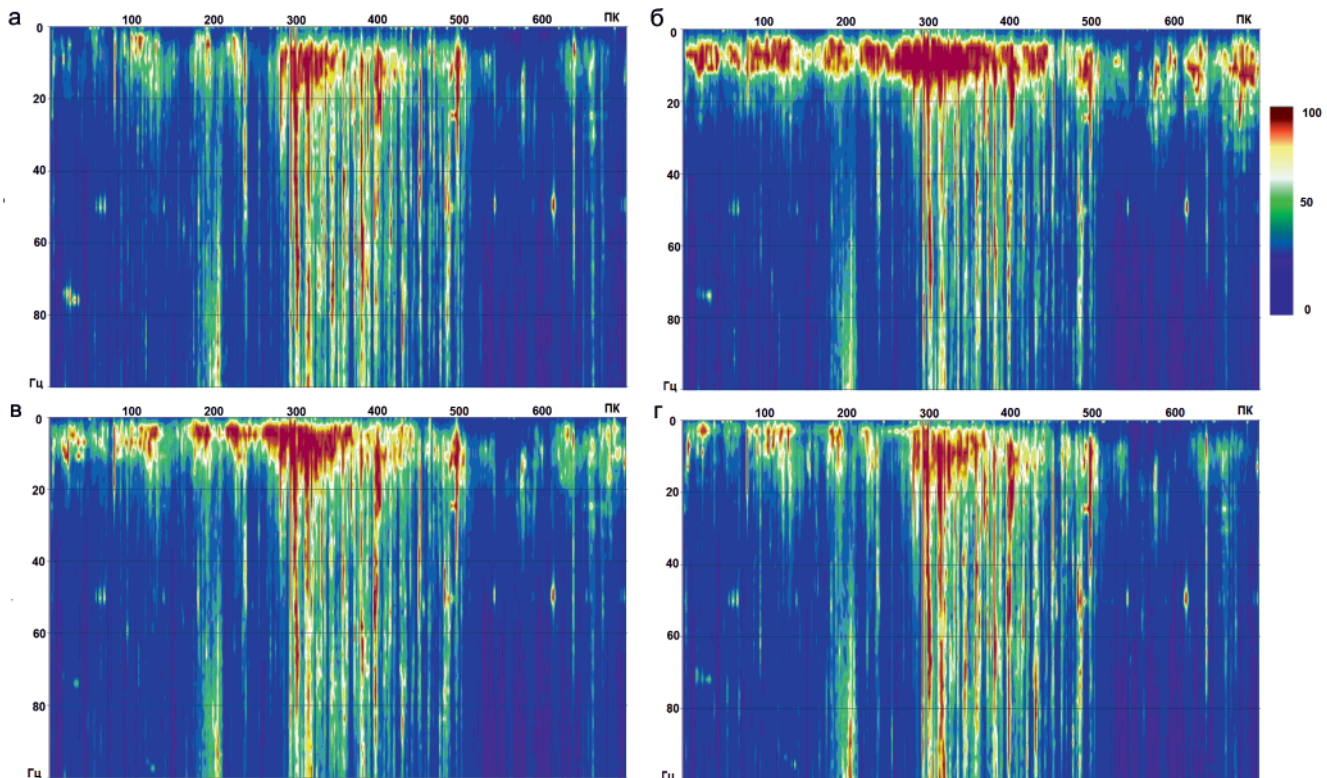


Рис. 2. Осредненный спектр микросейсм по фрагменту профиля, $L_0 = 2000$ м. Влияние времени начала окна анализа T_0 (с) на результат расчета осредненного спектра по профилю: а – 0, б – 3,5, в – 5, г – 9,5

ме вызвано микросейсмическим откликом среды после прохождения волн от взрыва. Возможно, сейсмическая эмиссия связана с залежью углеводородов либо вызвана резонансами трещиноватой среды в зоне разлома. В любом случае это новая дополнительная информация о среде, получаемая по результатам стандартной сейсморазведки. Поскольку данными являются микросейсмические шумы, генерируемые в геологической среде, а не волны, вызванные искусственным источником, результаты не зависят от данных структурной сейсморазведки.

Нами исследованы спектры микросейсм при сдвигающемся начале

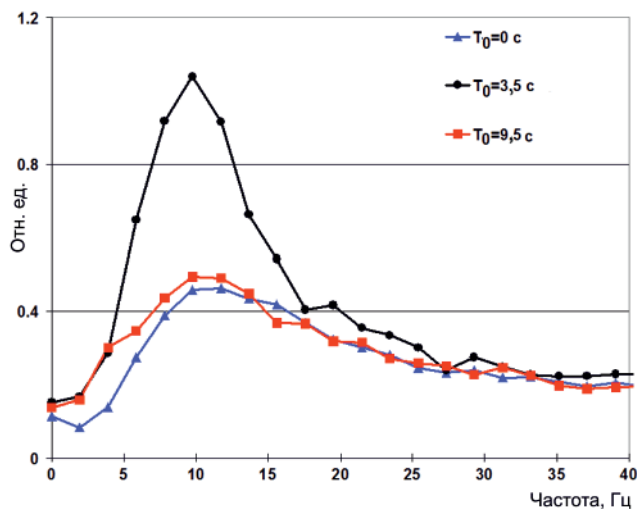


Рис. 3. Спектры микросейсм при различных значениях параметра T_0 . Спектр усреднен в интервале пунктов приема 300–320

окна анализа по времени на больших удалениях. Результаты показывают, что спектры, рассчитанные при T_0 0 и 9,5 с ($L_0 = 2000$ м) практически неразличимы, т. е. влияние взрывного воздействия полностью исчезло. Отмечено явление микросейсмического отклика среды – усиление тех же частот, что регистрируются в невозмущенном поле микросейсм, в поле, зарегистрированном после прибытия основной пачки генерированных взрывом волн. Полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальными параметрами окна анализа, обеспечивающими наибольшую разрешенность для конкретного разреза, являются $L_0 = 2000$ м, $T_0 = 3,5$ с. Для других случаев они могут варьироваться в зависимости от скоростного строения среды. Основное требование к окну анализа – его положение на сейсмограмме после прихода основного цуга отраженных волн и до прихода поверхностной волны.

В качестве примера возможного использования эмиссионного отклика среды, выражающегося в спектральных аномалиях микросейсм, рассмотрим следующий случай.

Тэтэровский лицензионный участок (лицензией обладает ОАО «Газпром») расположен в Тунгусско-Чунском районе Эвенкийского АО Красноярского края, в среднем течении р. Тэтэрэ. Тэтэрская пло-

щадь занимает западную часть Непско-Ботубинской нефтегазоносной области, прогнозные извлекаемые ресурсы категории D_1 Тэтэрского участка составляют 150 млн т условного топлива. Перспективы залежи связываются с терригенными песчаниками ванаварской свиты (верхний венд) [6]. На участке намечено бурение трех поисково-оценочных скважин с проектной глубиной 2500 м.

К 2009 г. проведены сейсморазведочные работы по ряду профилей, для пробной обработки взяты субширотные профили 3, 4, 5, 7, 8 и два субмеридиональных – 10, 11. Их расположение на площади и рекомендуемые точки заложения поисково-оценочных скважин показаны на рис. 4. Одна из точек заложения скв. Тэт-1 находится над куполом антиклинального поднятия, близко от пересечения профилей 4 и 10. Бурение этой скважины закончено в 2015 г. При ее исследовании обнаружены водонасыщенные пласты без признаков углеводородов.

Обработка данных по имеющимся профилям МОГТ проводилась следующим образом. В первую очередь, рассчитывались амплитудные спектры сейсмограмм во временном окне 0–512 мс (256 отсчетов) при удалениях свыше 2 км (до первых вступлений). Затем усреднялись спектры в каждом пункте приема. На следующем этапе рассчитывался вес среднечастотных микросейсм в общем спектре, т. е. вычислялось отношение (S_1) суммы спектра в интервале 0–40 Гц к сумме всего спектра 0–250 Гц. По описанному графу обработки рассчитывались спектры сейсмограмм в интервале 3500–4012 мс при тех же удалениях, результат – отношение (S_2) суммы спектра в интервале 0–40 Гц к сумме всего спектра для поздних интервалов времени после прохождения первичных волн от взрыва. Далее составлялась карта отношения $K = S_2/S_1$ (рис. 5).

В результате этих операций мы рассчитывали получить коэффициент изменения доли среднечастотных микросейсм после воздействия взрыва на среду в сравнении с расчетами по невозмущенному полю (до первых вступлений). При усилении эмиссии среднечастотных микросейсм после прохождения волн от взрыва коэффициент K должен существенно превышать единицу.

Рассмотрим результаты нашей обработки. Как следует из рис. 5, в центральной и западной частях участка $K = 2–3$, зона вытянута с запада на восток и лежит между профилями 4 и 5. Аномалия наследуется на двух субмеридиональных профилях (10 и 11), что позволяет уверенно говорить о достоверности результатов. При сравнении положения разломов на рис. 4 видно, что зона повышенных значений K расположена между двумя глубинными разломами, которые могут оказывать существенное влияние на миграцию флюидов и, соответственно, на процессы накопления углеводородов.

Как уже отмечалось, поисково-оценочная скв. Тэт-1 расположена над куполом антиклинали, в точке пересечения профилей 4, 10 и глубинного

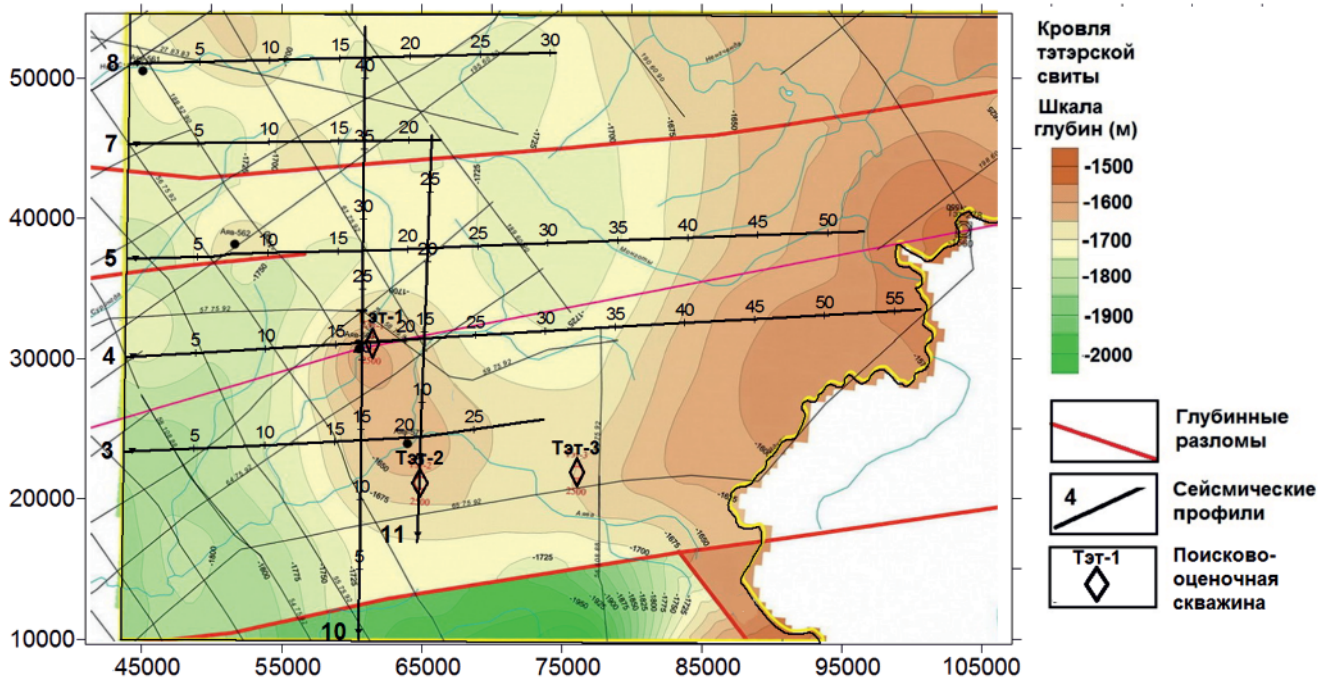


Рис. 4. Схема части Тэтэрского лицензионного участка с нанесенными сейсмическими профилями и известными глубинными разломами

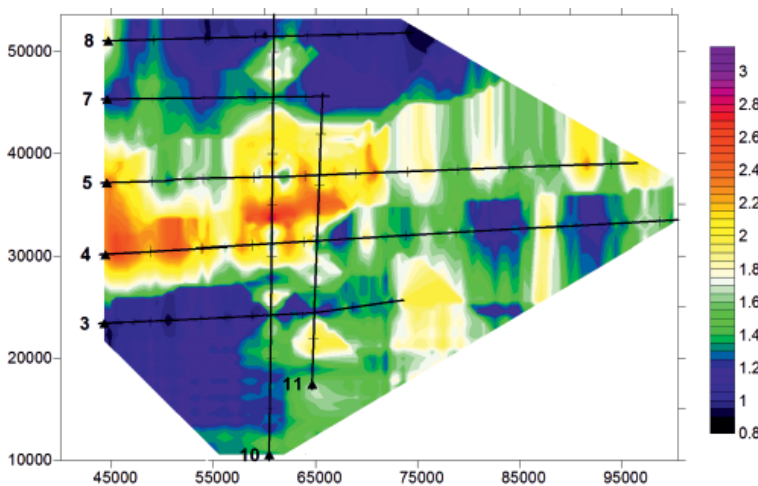


Рис. 5. Распределение коэффициента усиления эмиссии среднечастотных микросейсм после прохождения первых волн от взрыва по Тэтэрскому лицензионному участку

разлома. По нашим выводам, залежь следует искать на северном крыле антиклинали в 4–5 км севернее точки заложения указанной скважины.

Выводы

Наше исследование нацелено на выявление новых поисковых признаков нефтегазовых залежей. На одном примере проиллюстрированы найденные оптимальные параметры окна анализа (время начала окна анализа и удаления) сейсмограмм МОГТ для определения спектральных характеристик микросейсмического шума. Далее с использованием этих параметров обработаны сеймопрофили МОГТ по одной из перспективных площадей, на которой определено положение зоны повышения доли среднечастотных микросейсм в результате микросейсмического отклика среды. Результаты могут быть полезны при микросейсмическом районировании нефтегазовых площадей в целях прогноза нефтегазовых залежей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнов С. Л., Кузнецов О. Л., Востров Н. Н. Технологии АНЧАР 10 лет // Технологии сейсморазведки. – 2004. – № 2. – С. 127–131.
2. Беляков А. С., Лавров В. С., Николаев А. В. Акустический резонанс нефтяной залежи // Докл. РАН. – 2004. – Т. 397, № 1. – С. 101–102.
3. Биряльцев Е. В., Вильданов А. А., Ероина Е. М. и др. Моделирование эффекта АНЧАР в методе низкочастотного зондирования // Технологии сейсморазведки. – 2010. – № 1 – С. 31–40.
4. 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, 2007. – С. 179–183
5. Ведерников Г. В., Хогоев Е. А. Уточнение блоковых моделей залежей углеводородов по характеристикам микросейсм // Сб. матер. 10-й гео-



физ. науч.-практ. конф. Тюмень-ЕАГО. – Тюмень, 2006. – С. 17–22.

6. **Возможности** открытия новых крупных залежей нефти в главном поясе газонефтеносности Лено-Тунгусской провинции / Н. В. Мельников, А. А. Вымятин, П. Н. Мельников, Е. В. Смирнов // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5–6. – С. 701–720.

7. **Вынужденные** колебания трещиноватоблочных флюидонасыщенных слоев при вибросейсмических воздействиях / А. С. Алексеев, В. А. Цецохо, А. В. Белоносова и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 6. – С. 3–12.

8. **Рапопорт М. Б.** Сейсмическая неупругость и сейсмическая нелинейность залежей нефти и газа // Геофизика. – 2013. – № 3. – С. 75–80.

9. **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: СГА, 2014. – С. 138–142.

10. **Хогоев Е. А.** Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ “SanMcs” № 2008613961 от 19.08.2008

11. **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. 203–209.

REFERENCES

1. Arutyunov S.L., Kuznetsov O.L., Vostrov N.N. *Tekhnologii ANCHAR10 let* [10 years of the ANCHAR Technology]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic technologies*, 2004, no. 2, pp. 127–131. (In Russ.).

2. Belyakov A.S., Lavrov V.S., Nikolaev A.V. The acoustic resonance of an oil pool. *Doklady Earth Sciences*, 2004, vol. 397, no. 1, pp. 710–711.

3. Biryaltsev E.V., Vildanov A.A., Eronina E.M., et al. [Simulation of the ANCHAR effect in the method of low-frequency sounding]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic technologies*, 2010, no. 1, pp. 31–40. (In Russ.).

4. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [HC forecast for microseismic characteristics of CDP seismic surveys].

Sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Geo-Sibir'-2007» [Collection of materials of the international scientific congress “Geo-Siberia-2007”]. Novosibirsk, 2007, pp. 179–183. (In Russ.).

5. Vedernikov G.V., Khogoev E.A. [Refinement of block models of hydrocarbon pools by characteristics of microseisms]. *Sbornik materialov 10-y geofizicheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Tyumen-EAGO* [Collection of materials of the 10th Geophysical Scientific and Practical Conference Tyumen-EAGE]. Tyumen, 2006, pp. 17–22. (In Russ.).

6. Melnikov N.V., Vymyatnin A.A., Melnikov P.N., Smirnov E.V. Predicted new large oil pools in the main petroiferous belt of the Lena-Tunguska Province. *Russian Geology and Geophysics*, 2014, vol. 55, no. 5–6, pp. 544–561.

7. Alekseev A.S., Tsetsokho V.A., Belonosova A.V., et al. Forced oscillations of crack-block fluid-saturated layers during vibroseismic action. *Journal of Mining Sciences*, 2001, no. 6, pp. 3–12.

8. Rapoport M.B. Seismic inelasticity and seismic nonlinearity of oil and gas reservoir. *Geophysics*, 2013, no. 3, pp. 75–80.

9. Khogoev E.A. [On the connection of mid-frequency microseisms with a gas pool]. *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. scientific Congr., April 8–18, 2014, Novosibirsk: Intern. scientific conf. “Subsoil use. Mining. Trends and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Geoecology”: Col. materials in 4 vols]. Novosibirsk, SGA Publ., 2014, vol. 3, pp. 138–142. (In Russ.).

10. Khogoev E.A. *Svidetel'stvo o gos. registratsii programmy dlya EVM “SanMcs”* [Certificate of State registration of the “SanMcs” computer program]. No 2008613961 by 19.08.2008. (In Russ.).

11. Khogoev E.A. [Technology of studying geodynamic noise in oil and gas pools]. *Seysmicheskie issledovaniya zemnoy kory: Sb. dokl. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Seismic studies of the earth's crust: Col. reports All-Russian Scientific Conference]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2011, pp. 203–209. (In Russ.).

© Е. А. Хогоев, Е. Е. Хогоева, М. Л. Шемякин, 2019



ТЫДТУГЕМСКАЯ ЭПИТЕРМАЛЬНАЯ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев

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

Приведены данные о составе субвулканических лейкогранит-порфиров, околорудных метасоматитах и рудной минерализации Тыдтугемской магмо-рудно-метасоматической системы. Субвулканические образования представлены дайкообразными телами, залегающими среди туфоконгломератов и туфопесчаников аксайской свиты раннего девона. Оруденение представлено жилами и штокверковыми образованиями, сопровождается аргиллизитами (иллит, монтмориллонит, диккит), окварцеванием, баритизацией и карбонатизацией. Выделены три стадии минерализации. Определены температуры кристаллизации минералов, состав флюидов, изотопов серы в сульфидах и кислорода в кварце разных генераций. Оценены некоторые параметры гидротермальных растворов: фугитивности серы, кислорода и теллура, pH растворов. Модель формирования системы включает мантийно-коровое взаимодействие на всех этапах ее формирования.

Ключевые слова: субвулканические тела, туфоконгломераты, туфопесчаники, жилы, штокверки, эпитеpмальное высокосернистое оруденение, аргиллизиты, кварц, барит, сульфиды, золото, серебро, медь.

THE TYDTUGEM EPITHERMAL MAGMA-ORE-METASOMATIC SYSTEM OF THE SOUTHEAST OF THE GORNY ALTAI

A. I. Gusev

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

Data on the composition of subvolcanic leucogranite-porphyry, wallrock metasomatites and ore mineralization of the Tydtugem magma-ore-metasomatic system are given. Subvolcanic formations are represented by dike-like bodies lying among the tuff-conglomerates and tuff-sandstones of the Early Devonian Aksai Formation. Mineralization is represented by veins and stockwork formations, accompanied by argillites (illite, montmorillonite, and dikkit), silicification, baritization and carbonation. There are three stages of mineralization. Crystallization temperatures of minerals, the composition of fluids, sulfur isotopes in sulfides and oxygen in quartz of different generations are determined. Some parameters of hydrothermal solutions, such as fugacity of sulfur, oxygen and tellurium, pH of solutions, are estimated. The MOMS model includes the mantle-crust interaction at all stages of its formation.

Keywords: subvolcanic bodies, tuff conglomerate, tuff sandstone, vein, stockwork, epithermal high-sulfur mineralization, argillite, quartz, barite, sulfide, gold, silver, copper.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-85-93

Тыдтугемская магмо-рудно-метасоматическая система (МРМС) расположена в правом борту р. Чуя. Цель нашего исследования – изучить магматические образования, вещественный состав руд и околорудных метасоматитов и осуществить типизацию Тыдтугемской МРМС, что очень важно на ранних стадиях изучения таких объектов. Предварительные данные показали, что изучаемый объект может быть отнесен к эпитеpмальным Ag-Au системам, которые на Алтае широко не распространены.

Известно, что эпитеpмальное Ag-Au оруденение занимает значительный объем в добыче золота и серебра: более 17,5 % (без Витватерсранда) и более 6 % мировой добычи соответственно [21]. Согласно современным представлениям [21], эпитеpмальное золото-серебряное оруденение подразделяется на следующие типы: низкосернистое (Low sulfidation), промежуточно сернистое (Intermediate sulfidation) и высокосернистое (High sulfidation). Типизация эпитеpмального золото-серебряного ору-

денения с учетом минерального состава и термодинамических параметров гидротермальных систем, формировавших руды, имеет большое значение, в особенности на поисковой и поисково-оценочной стадиях изучения таких объектов. На западе Алтая разведано и эксплуатируется Суричское золото-серебряное месторождение, отнесенное к промежуточно-серному типу. К какому типу относится Тыдтугемская эпитеpральная система, предстоит решить в этом исследовании.

Развитие сырьевой базы золота и серебра на Алтае весьма актуально, и изучение Тыдтугемского проявления обеспечит новый тип эпитеpмальных Ag-Au систем региона.

Результаты исследований

Тыдтугемская МРМС включает в себя туфоконгломераты, туфопесчаники, субвулканические тела дайкообразной формы, жилы и прожилки кварца, барита, карбонатов с сульфидной минерализацией.

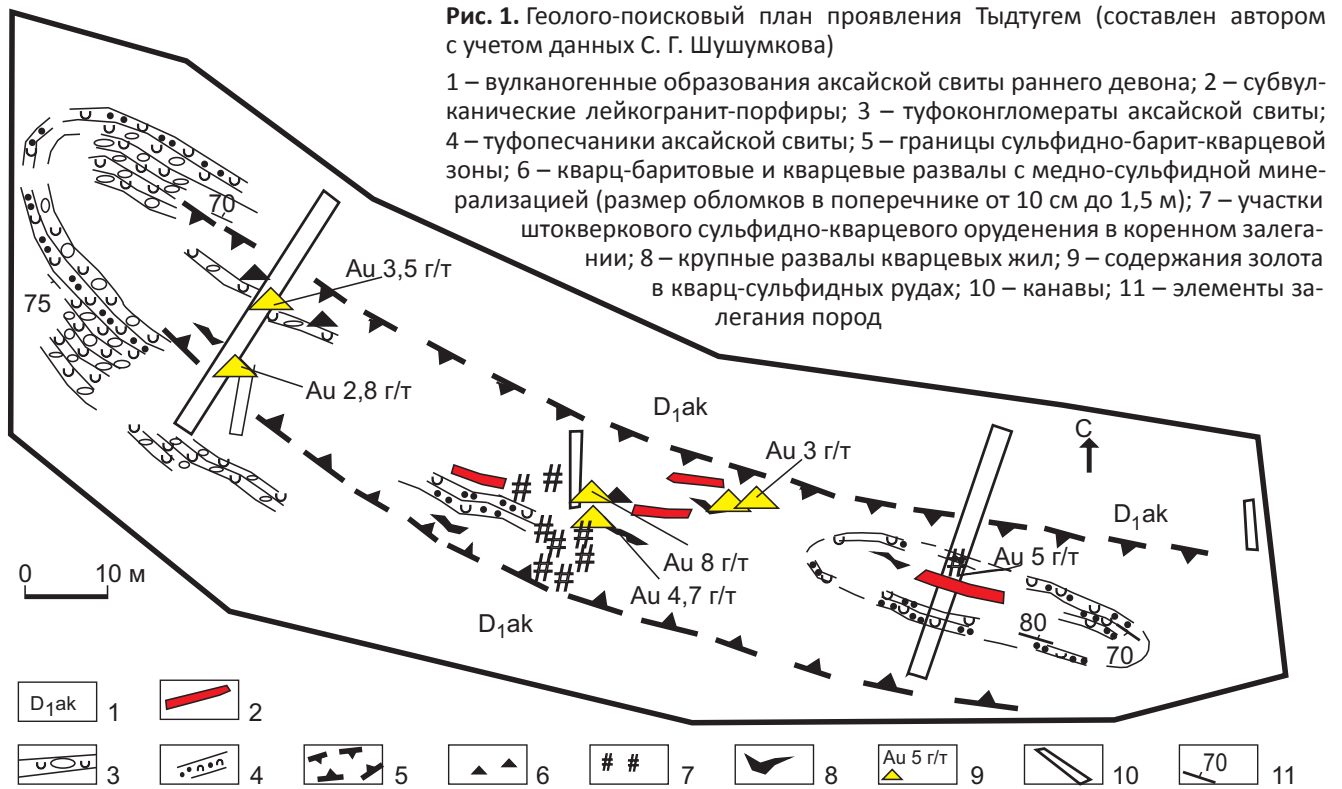


Рис. 1. Геолого-поисковый план проявления Тыдтугем (составлен автором с учетом данных С. Г. Шушумкова)

1 – вулканогенные образования аксайской свиты раннего девона; 2 – субвулканические лейкогранит-порфиры; 3 – туфоконгломераты аксайской свиты; 4 – туфопесчаники аксайской свиты; 5 – границы сульфидно-барит-кварцевой зоны; 6 – кварц-баритовые и кварцевые развалы с медно-сульфидной минерализацией (размер обломков в поперечнике от 10 см до 1,5 м); 7 – участки штокверкового сульфидно-кварцевого оруденения в коренном залегании; 8 – крупные развалы кварцевых жил; 9 – содержания золота в кварц-сульфидных рудах; 10 – каналы; 11 – элементы залегания пород

Минерализованная зона (до 25 м шириной) вытянута в субширотном направлении, сопровождается окварцеванием, серицитизацией, аргиллизацией и приурочена к области смятия в узкие антиклинали и синклинали с проявлением субвулканических образований (рис. 1).

Субвулканические лейкогранит-порфиры образуют дайкообразные тела и имеют розовую окраску с желтоватым оттенком. Это массивные породы с неравномерным распределением желтоватой и розоватой окрасок и почти полным отсутствием темноцветных минералов. Текстура порфировая, местами брекчиевая с пятнистым распределением окраски. Во вкрапленниках присутствует кварц размером 0,2–0,4 мм, калиевый полевой шпат таблитчатой формы, редко мусковит в виде чешуек размером до 0,3 мм. Основная ткань породы представлена мелкозернистым агрегатом зерен калиевого полевого шпата, кварца, изредка хлорита. Местами

отмечаются микросферолитовые выделения полевого шпата. В краевых частях субвулканических тел иногда встречаются миароловые пустотки овальной формы размером 0,5–0,7 см, выполненные кварцем, кальцитом, баритом. Акцессорные минералы включают пирит, циркон, монацит. Химический состав лейкогранит-порфиров приведен в табл. 1.

Лейкогранит-порфиры по сумме щелочей относятся к умеренно-щелочной серии магматитов при резком преобладании K_2O над Na_2O . Они характеризуются повышенными суммарными концентрациями редкоземельных элементов (от 178,5 до 990,2 г/т). Отношения U/Th невысокие, указывающие на отсутствие существенных наложенных процессов на субвулканические образования. Высокие концентрации Nb в породах (29,5–40,6 г/т) указывают на возможность их образования за счет частичного плавления Nb-обогащенных базальтов. Во всех образцах проявлена негативная аномалия по европию (от 0,28 до 0,38). Изотопы стронция и неодима в породах указывают на мантийный и коровый источники.

На диаграмме соотношений $K_2O - SiO_2$ лейкогранит-порфиры попадают в поле шошонитовой серии пород (рис. 2).

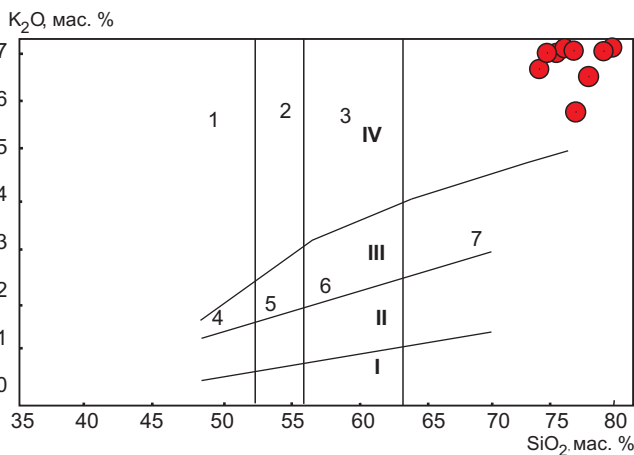


Рис. 2. Диаграмма соотношений $K_2O - SiO_2$ для лейкогранит-порфиров Тыдтугемской МРМС (красные кружки)

Поля пород: 1 – абсарокит, 2 – шошонит, 3 – банакит, 4 – высококалийный базальт, 5 – высококалийный андезибазальт, 6 – высококалийный андезит, 7 – высококалийный дацит по [17]; серии пород: I – толеитовая, II – известково-щелочная, III – высококалийная известково-щелочная, IV – шошонитовая

Таблица 1

Химический состав субвулканических лейкогранит-порфиров аксайского комплекса проявления Тыдтугем (оксиды в %, элементы в г/т, Au, Ag – в мг/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	74,78	74,8	74,81	75,1	75,4	75,8	76,1	76,8	76,9
TiO ₂	0,14	0,15	0,21	0,13	0,12	0,19	0,11	0,1	0,13
Al ₂ O ₃	12,13	11,9	12,6	12,1	12,15	12,3	11,9	12,1	11,91
Fe ₂ O ₃ t	2,52	1,98	1,29	2,21	1,22	2,31	1,13	1,4	1,17
MnO	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,11
MgO	0,15	0,06	0,43	0,08	0,07	0,18	0,10	0,05	0,14
CaO	0,36	0,1	0,33	0,02	1,14	0,16	0,22	0,1	0,33
Na ₂ O	1,85	2,96	1,48	0,35	1,21	2,5	0,2	1,34	1,9
K ₂ O	6,88	6,46	7,86	8,85	7,35	5,6	8,55	7,5	6,7
P ₂ O ₅	0,05	0,03	0,08	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
П.п.п.	0,75	1,4	0,72	0,8	1,01	1,10	0,74	0,4	0,55
Сумма	99,64	99,86	99,83	99,71	99,69	99,8	99,11	99,85	99,89
Cr	209	36,8	40,2	55,1	41,1	21,8	53,3	79,2	48,7
V	4,6	5,2	1,3	1,41	1,2	2,7	1,5	1,2	6,1
Ni	97	33,1	61,1	44,5	67,8	45,8	66,2	131	59,9
Co	5,0	14,9	2,3	2,2	2,8	19,8	3,2	5,5	5,6
Cu	11,2	13,7	41,0	40,8	65,3	66,3	65,9	13,5	64,1
Zn	24,2	25,7	23,3	28,03	29,7	22,8	23,8	23,1	24,9
Pb	4,7	22,1	5,2	1,06	15,3	15,7	5,5	4,0	8,8
Sb	1,1	2,8	4,8	2,5	9,2	6,7	4,3	2,1	0,5
Sc	9,4	10,6	9,3	10,2	10,0	10,1	9,3	9,3	10,2
Rb	193	217	235	248	201	167	227	188	185
Ba	452	366	442	422	960	381	435	490	440
Sr	27,1	29,8	26,1	21,1	35,8	28,6	21,3	24,0	24,9
Nb	39,2	29,5	36,3	37,1	36,9	34,6	36,2	40,6	35,7
Ta	2,2	2,6	2,1	1,95	2,15	2,7	2,0	2,1	2,3
Zr	258	280	260	266	253	213	225	254	260
Hf	8,75	10,4	9,4	9,6	8,9	10,1	8,1	9,3	10,5
Y	83,1	82,6	93,1	61,1	77,5	74,7	62,8	82,1	131
Th	16,3	19,6	16,5	15,7	16,3	12,6	15,5	16,6	19,3
U	3,0	4,6	4,55	3,1	3,8	3,6	3,8	4,3	4,2
La	58,9	4,6	92,1	20,1	59,2	3,6	26,5	62,1	251
Ce	127,3	51,7	150,7	36,6	124,8	52,3	86,3	126,8	148,8
Pr	15,1	130,8	23,8	4,9	15,4	6,3	7,3	16,1	57,5
Nd	60,6	14,9	96,8	19,3	61,5	25,2	28,9	62,7	228
Sm	14,1	57,4	23,5	4,1	14,0	6,1	6,72	14,2	50,5
Eu	1,28	13,6	2,35	0,45	1,45	0,83	0,85	1,6	5,4
Gd	13,6	1,2	23,6	4,75	13,6	7,8	7,1	15,1	51,1
Tb	2,3	12,8	3,6	1,05	2,2	1,65	1,49	2,35	6,35
Dy	14,0	2,3	17,8	8,32	13,8	11,9	9,92	14,5	29,9
Ho	2,9	14,2	3,24	2,14	2,83	2,5	2,34	3,05	4,97
Er	8,4	3,0	8,1	6,8	7,95	7,2	6,79	8,4	12,28
Tm	1,2	8,9	1,15	1,08	1,22	1,1	1,05	1,3	1,55
Yb	7,8	8,54	7,1	6,78	7,61	6,6	6,5	7,97	10,5
Lu	1,1	1,31	1,08	1,0	1,21	0,88	0,95	1,14	1,36
Au	155	148	176	164	154	105	87	160	198
Ag	501	498	487	492	502	455	443	487	765
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0,70509	Н.о.	0,70708	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
εNd(t)	1,9	Н.о.	2,7	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Σ REE	411,7	404,6	551,0	178,5	404,3	226,3	255,5	419,4	990,2
U/Th	0,18	0,23	0,27	0,2	0,23	0,28	0,24	0,26	0,22
Nb/Ta	17,7	11,3	17,3	19,0	17,2	12,8	18,1	19,3	15,5
(La/Yb) _N	4,98	4,0	8,57	1,96	5,13	2,1	2,69	5,15	15,78
Eu/Eu*	0,28	0,28	0,31	0,31	0,32	0,37	0,38	0,34	0,33
TE _{1,3}	1,01	1,07	0,94	0,98	1,0	1,11	1,16	0,99	0,74

Примечание. Силикатный анализ на главные компоненты химическим методом выполнен в лаборатории Западно-Сибирского испытательного центра (Новокузнецк); для микроэлементов – методом ICP-MS в лаборатории ИМГРЭ (Москва); изотопный состав определялся на 9-коллекторном масс-спектрометре TRITON в статическом режиме в лаборатории ИГЕМ (Москва). Н.о. – не определялось. N – элементы нормированы по [5]; TE_{1,3} – ТЭФ РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по [13]; Eu* = (ΣSm_N+Gd_N)/2. Номера столбцов – номера проб. εNd – разность между отношениями ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в породе.

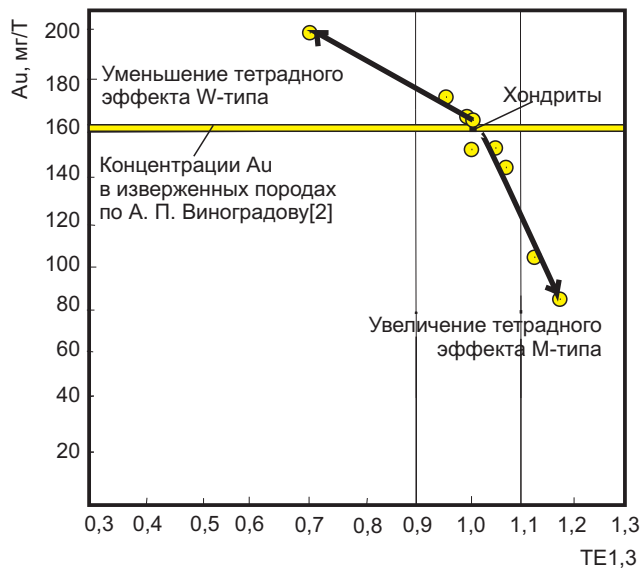


Рис. 3. Диаграмма Au – TE_{1,3} по [2] для лейкогранит-порфиров Тыдтугемской МРМС (TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по [13]; желтое поле показывает концентрации золота в магматических породах по [1]; содержания золота в хондритах по [20])

В породах проявлены оба типа тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) редкоземельных элементов (РЗЭ) М- и W-типов (граничные значения >1,1 и <0,9, соответственно).

Соотношение концентраций Au и TE_{1,3} в лейкогранит-порфирах показывает, что эти величины имеют обратную зависимость: с увеличением содержания золота уменьшается значение ТЭФ РЗЭ (рис. 3). На диаграмме указанных соотношений наблюдаются два тренда для М- и W-типов ТЭФ РЗЭ. Это свидетельствует о том, что в магматогенных флюидах присутствовали различные летучие компоненты, но основную роль в переносе золота играли CO₂, H₂O и HS²⁻, которые и обуславливали проявление ТЭФ РЗЭ W-типа [3]. С последним, видимо, и связаны наиболее высокие концентрации золота.

Проявление Тыдтугем находится в правом борту р. Чуя в нижнем течении р. Тыдтугем. Рудная минерализация представлена зоной линейного штокверка протяженностью 400 и мощностью 20–25 м (аргиллизированные туфоконгломераты и туфопесчаники аксайской свиты (D_{1ak}), пронизан-

ные кварц-баритовыми, кварц-кальцит-баритовыми жилами и прожилками мощностью от 1 до 10 см).

Кварц часто ноздреватый. Местами отмечаются раздувы жил до 0,40–1,5 м. В таких местах метасоматиты представлены аргиллизитами с гнездами и линзочками каолинита, диккита, иллита и монтмориллонита, сульфидная минерализация – вкрапленностью, прожилками и гнездами пирита, халькопирита с борнитом, халькозином, тетраэдритом, теннантитом, редко арсенопиритом, сфалеритом, галенитом и электрумом. При микроскопическом изучении выявлены также мелкие выделения энаргита, тетрадимита, алтаита, аргентита, а в окисленных рудах обнаружен рабдофан.

Содержания элементов следующие: меди от 0,1 до 1,8 %, золота от 0,5 до 8 г/т, серебра от 12 до 176 г/т; отношение Ag/Au в рудах варьирует от 15 до 22 и может быть отнесено к Ag/Au типу по [4].

В 350 м к востоку от проявления Тыдтугем среди аргиллизированных туфопесчаников аксайской свиты обнаружено еще одно, представленное серией кварц-карбонат-баритовых прожилков и жил мощностью 2–15 см с вкрапленностью халькопирита, борнита, сфалерита, редко галенита размером 2–15 мм. Местами отмечаются гнезда сульфидов (пирита, арсенопирита, тетраэдрита, халькопирита) среди барит-карбонатных жил размером 5–16 см в поперечнике. Ширина выходов прожилковой зоны 1,5–3 м. По простиранию зона прослежена на 18 м. Содержания меди от 0,3 до 1,6 %, золота от 0,5 до 5 г/т, серебра 19 до 156 г/т, цинка от 0,8 до 4,5 %.

Комплексное микроскопическое исследование руд и околорудных изменений позволило составить парагенетическую схему последовательности минералообразования, в которой отображены эндогенные стадии и результаты окисления первичных минералов (рис. 4).

Физико-химические особенности рудного процесса

Температуры гомогенизации первичных газожидких включений в кварце 1-й, 2-й и 3-й генераций снижались от 255 до 195 и 170 °С соответственно. Соленость растворов также уменьшалась от 6,1–7,2 до 0,6–1 вес. % NaCl. Это свидетельствует о процессах смешения ювенильных растворов на поздних этапах становления гидротермальной си-

Таблица 2

Термобаро-геохимические и изотопные данные исследований минералов Тыдтугемского проявления

Минерал	n	T _{гом} , °С	Соленость, мас.-%-экв. NaCl	δ ³⁴ S, ‰	δ ¹⁸ O, ‰ SMOW
Кварц 1	2	260–250	6,1–7,2	Н.о.	15,8–16,2
Кварц 2	2	190–205	2,0–1,8	Н.о.	17,0–18,8
Кварц 3	2	165–180	0,6–1,0	Н.о.	Н.о.
Пирит 1	2	Н.о.	Н.о.	–3,5... –1,7	Н.о.
Пирит 2	2	Н.о.	Н.о.	–1,5...+5,5	Н.о.

Примечания: n – количество анализов; н. о. – не определялось.



Минерал/ Mineral	Эндеогенная стадия/Endogenic stage			Гипергенная/ Gipergenic
	1	2	3	
Кварц/Quartz	██████████	██████████	██████████	
Кальцит/Calcite	██████████	██████████	██████████	
Барит/Barite	██████████	██████████	██████████	
Пирит/Pyrrite	██████████	██████████		
Галенит/Galenite	██████████	██████████	██████████	
Сфалерит/Sphalerite	██████████	██████████		
Халькопирит/Chalcopyrite	██████████	██████████		
Теннантит/Tennantite		██████████		
Тетраэдрит/Tetrahedrite		██████████		
Энаргит/Enargite		██████████		
Аргентит/Argentite	██████████	██████████		
Алтаит/Altaite	██████████		██████████	
Иллит/Illite	██████████	██████████		
Монтмориллонит/ Montmorillonite	██████████	██████████		
Каолинит/Kaolinite	██████████	██████████		
Хлорит/Chlorite	██████████	██████████		
Церуссит/Cerussite				██████████
Гематит/Hematite				██████████
Малахит/Malachite				██████████
Азурит/Azurite				██████████
Ковеллит/Covellite				██████████
Ярозит/Jarosite				██████████
Рабдофан/Rhabdophane				██████████
Хризоколла/Chrysocola				██████████
Англезит/Anglesite				██████████
Смитсонит/Smithsonite				██████████

Рис. 4. Парагенетическая схема последовательности минералообразования

стемы. Некоторые термобарометрические и изотопные данные приведены в табл. 2.

Существенно сфалерит-теннантит-галенитовые руды с хлоритом в районе штокверкового сульфидно-кварц-баритового состава формировались из хлоридно-натриевых слабо концентрированных (7,0–6,0 мас. %-экв. NaCl) растворов при температуре 260–255 °С. Согласно хлоритовому термометру в полиметаллических рудах хлорит формировался при температуре 255–250 °С. Содержания тяжелого изотопа серы в пирите отвечает магматогенному источнику, а кислорода – метеорным водам.

Для оценки зависимостей температур и фугитивности серы (fS_2) при кристаллизации руд Тыдтугемского проявления были использованы фазовые взаимоотношения и изменения состава минералов в системе Fe-Zn-S [19]. Предварительно в составе сфалерита 1-й генерации содержание FeS определено в количестве 7,0–7,5 мол. %, а в составе сфалерита 2-й генерации – 0,6–0,9 мол. %. На основании

этих данных изменение фугитивности серы можно отразить на диаграмме (рис. 5).

С понижением температуры кристаллизации минеральных парагенезисов уменьшалась фугитивность серы: для первой стадии от –9,9 до –11,5, для второй – от –11,8 до –12,9.

Оценка значений pH и fO_2 для гидротермальных растворов получена из построения соответствующей диаграммы (рис. 6).

Аналогичным образом определена фугитивность кислорода и теллура (табл. 3).

Интерпретация результатов

Большое значение для понимания генезиса гранитоидов имеют аномально высокие концентрации в них Nb (в Тыдтугемской МРМС от 29,5 до 40,6 г/т). Это свидетельствует об образовании лейкогранит-порфиров за счет плавления высококиониевых базальтов (NEB). Источник этого плавления может быть определен с использованием соотношений Nb и Ta. Известно, что плавление источника

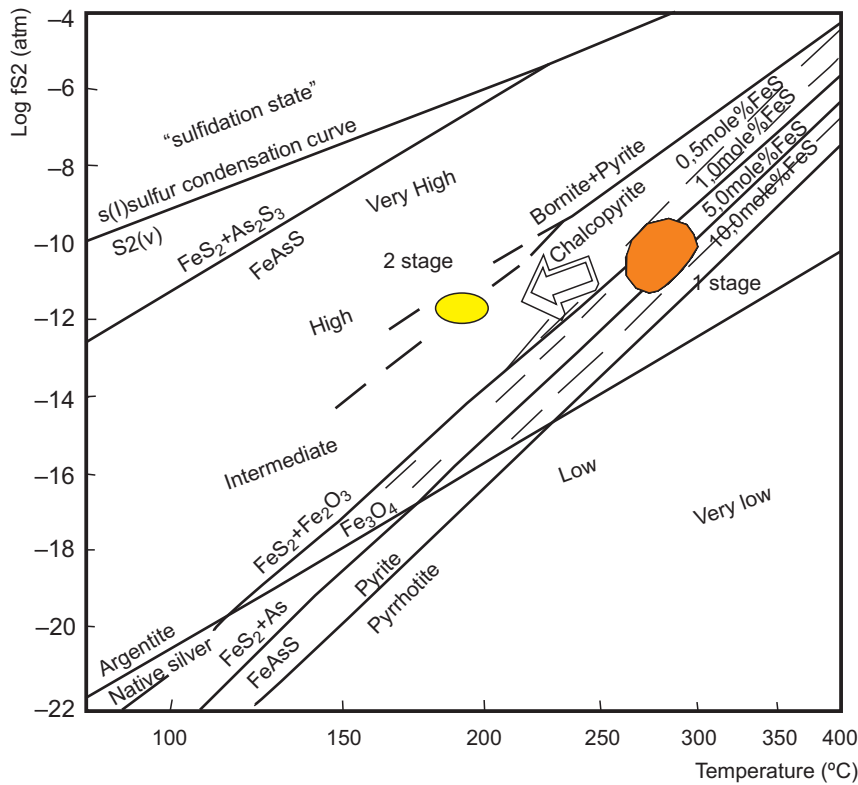


Рис. 5. Диаграмма $\log fS_2$ – температура для рудной минерализации Тыдтугемского проявления (изоплеты FeS содержаний для сфалерита рассчитаны с использованием уравнений по [19]; приблизительные оценки фугтивности серы и температурные условия для 1-й стадии – оранжевое поле, для 2-й стадии – желтое)

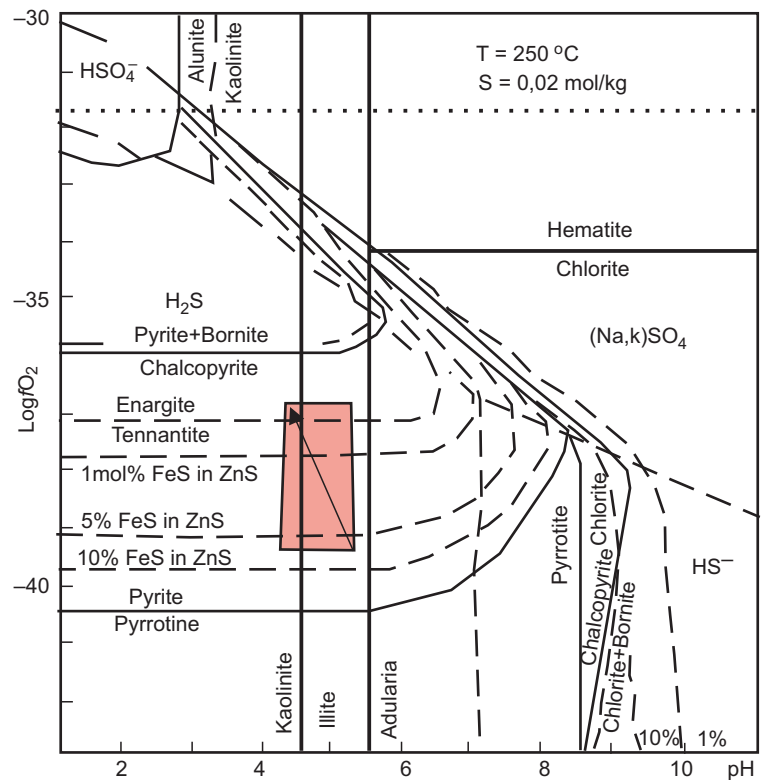


Рис. 6. Диаграмма $\log fO_2$ – pH для руд Тыдтугемского проявления (значения pH и fO_2 первичных рудных флюидов модифицированы по [14]; стрелкой показано изменение состояния рудных флюидов от нейтральных к слабо кислым; цветом – поле стабильности для различных минералов с мол. % FeS в сфалерите при $T = 250 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Sigma S = 0,02 \text{ моль/кг}$)

пород, содержащего фазы Ti-обогащенных ингредиентов (рутила, ильменита), будет генерировать расплавы с высоким отношением Nb/Ta (>25), в то время как плавление источника с амфиболом приводит к формированию расплавов с более низким отношением Nb/Ta (<25) [11, 15]. В лейкогранит-порфирах Тыдтугемской МРМС эти отношения варьируют от 11,3 до 19,3, что указывает на плавление амфиболсодержащего источника.

В настоящее время предполагается, что к образованию и дифференциации риолитового материала в вулканогенных поясах с эпитермальным оруденением приводят три главных процесса: кристаллизационное фракционирование [6, 8], частичное плавление континентальной коры [16, 18] и термогравитационная диффузия, при которой химическое фракционирование достигалось при полном расплавлении [12].

Таблица 3

Некоторые химические и физико-химические параметры минералов проявления Тыдтугем

Показатель	Значение
FeS в сфалерите (ZnS) 1-й стадии (полисульфидной), мол. %	7,0–7,5
logf O ₂ 1-й стадии (полисульфидной)	–39... –40
logf S ₂ 1-й стадии (полисульфидной)	–9,9... –11,5
logf S ₂ 2-й стадии (золото-сульфидно-теллуридной)	–11,8... –12,9
logf Te ₂ 2-й стадии (золото-сульфидно-теллуридной)	–15... –16,2
pH	4,5–5,5
Температура кристаллизации (Т, °С) полисульфидного парагенезиса (1-й стадия)	255
Температура кристаллизации (Т, °С) 2-й стадии (золото-сульфидно-теллуридной)	195

Популярная модель термодиффузии в жидкой среде, предложенная В. Хилдретом [12], способна объяснить различие интерпретаций образования риолитов, в том числе и субвулканических кислых образований, в различных районах. Она раскрывает механизм обогащения совместимыми сидерофильными (Y, Sc и Mn) элементами и несовместимыми, характерной особенностью которых является несовместимость с любой системой, и прежде всего с системой кристалл – жидкость. По указанным параметрам к Тыдтугемской МРМС может быть применена именно модель термодиффузии. Она также дает объяснение механизмов фракционирования тяжелых редкоземельных элементов относительно легких без привлечения фракционирования циркона или апатита. Модель помогает понять процесс обогащения флюидной фазы магматитов благородными элементами. Главные летучие компоненты в большинстве магм представлены H₂O, CO₂ и S₂ или H₂S [21]. В субвулканических породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ W-типа, значения которого позитивно коррелируются с содержаниями золота и серебра в породах.

Однако модель термодиффузии для условий Тыдтугемской МРМС была сконструирована в результате процессов смешения базальтового источника и корового материала, что подтверждается анализом соотношений La/Nb и Ce/Y (рис. 7).

В рудах проявления присутствуют минералы, характеризующиеся высокосернистым составом (энаргит, борнит, халькозин), что позволяет отнести изучаемый объект к высокосернистым проявлениям (High Sulfidation). Известно, что высокосернистым эпитеpмальным золото-серебряным месторождениям свойственно наличие в рудах энаргита и иногда люцонита [10]. Это имеет место и в рудах Тыдтугемского проявления. Установлено, что высокосернистые эпитеpмальные Au-Cu месторождения развиваются в обстановках, где летучие компо-

ненты поднимаются из глубинного магматического источника очень быстро и не взаимодействуют с вмещающими породами и окружающими водами на глубине, становясь очень горячими кислыми гидротермальными флюидами, которые только на эпитеpмальных близповерхностных уровнях взаимодействуют с вмещающими породами [9]. Прогрессивное охлаждение и нейтрализация горячих кислых гидротермальных флюидов вмещающими породами в близповерхностной обстановке производят изменения кислотно-сульфатного типа и зональные аргиллизиты с формированием типичных ассоциаций пирита, энаргита и других высокосернистых минералов. В близповерхностных условиях происходит смешение глубинных высокотемпературных растворов с вадозными водами, превращая их в эпитеpмальные системы.

К высокосернистому типу эпитеpмальных систем относятся такие известные гигантские Ag-Au месторождения, как Голдфилд (Невада, США), Лепанто (Филиппины), Ивата (Япония).

В последнее время стало известно, что месторождения порфирово-эпитеpмальных минеральных систем ассоциированы с островодужным магматизмом в пределах конвергентных геодинамических обстановок. Такие системы зональны, и глубже эпитеpмального оруденения должно локализоваться порфировое и, возможно, скарновое. Совмещение порфирового и эпитеpмального Au-Ag оруденения отмечается в рудах Михеевского место-

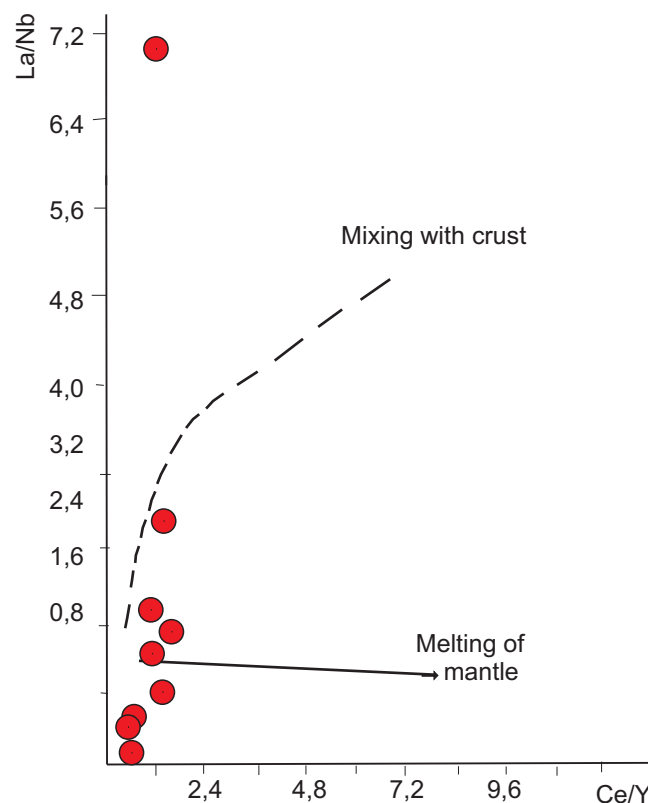


Рис. 7. Диаграмма соотношений La/Nb – Ce/Y по [7] для субвулканических лейкогранит-порфиров (красные кружки) Тыдтугемского проявления



рождения на Урале, Au-Ag месторождений Роговик и Баимка на Северо-Востоке России, в Айлаошаньском рудном поясе на северо-западе Китая.

Выводы

Тыдтугемская МРМС относится к сложным системам, в формировании которых обнаруживаются признаки мантийной составляющей (плавление высококиониевых базальтов) и смешения с коровым материалом, что приводит к специфическому формированию оруденения эпиптермального высокосернистого типа.

Наличие среди окисленных руд рабдофана указывает на возможность обнаружения в первичных рудах редкоземельных минералов, учитывая сложность и многоярусность порфирово-эпиптермальных систем, в районе Тыдтугемского проявления можно предположить обнаружение и порфирового оруденения.

Полученные данные позволяют рекомендовать недоизученное Тыдтугемское проявление для проведения поисковых и поисково-оценочных работ на эпиптермальное золото-серебряное и медно-золото-порфировое оруденение.

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.** К геохимии акцессорного пирита Кошрабадского массива Западного Узбекистана // *Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении: матер. конф., посвящ. 80-летию создания ИГиГ и 105-летию со дня рождения акад. Х. М. Абдуллаева*. – Ташкент, 2017. – С. 229–232.

3. **Гусев А. И., Табакаева Е. М.** Критерии продуктивных магматических комплексов Алтайского региона на золотое оруденение. – Бийск: Изд-во АГАО, 2014. – 145 с.

4. **Золоторудные** месторождения нетрадиционных типов – основа укрепления сырьевой базы в районах золотодобычи Алтая / С. С. Вартамян, Ю. М. Щепотьев, А. И. Зайцев и др. // *Руды и металлы*. – 2006. – № 3. – С. 5–13.

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

6. **Bagby W. C., Cameron K. L., Cameron M.** Contrasting evolution of calc-alkalic volcanic and plutonic rocks of western Chihuahua, Mexico // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – Vol. 86, Issue B11. – P. 10402–10410.

7. **Barbarin B.** A Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // *Lithos*. – 1999. – Vol. 46, Issue 3. – P. 605–626.

8. **Cameron M., Bagby W. C., Cameron K. L.** Petrogenesis of Voluminous mid-Tertiary ignimbrites of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1980. – Vol. 74, no. 3. – P. 271–284.

9. **Corbett G.** Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralised systems: Some exploration implications // *Australian Institute of Geoscientists North Queensland Exploration Conf.* – 2009. – AIG Bull. 49. – P. 33–46.

10. **Enargite-luzonite** hydrothermal vents in Manus Back-Arc Basin: submarine analogues of high-sulfidation epithermal mineralization / V. M. Dekov, O. Rouxel, K. Kouzmanov et al. // *Chemical Geology*. – 2016. – Vol. 438. – P. 36–57.

11. **Foley S. F., Tiepolo M., Vannucci R.** Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones // *Nature*. – 2002. – Vol. 417. – P. 837–840.

12. **Hildreth W.** Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – Vol. 86, Issue B11. – P. 10153–10192.

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

14. **John D. A.** Miocene and Early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the Northern Great basin, Western United States: characteristics, distribution, and relationship to magmatism // *Economic Geology*. – 2001. – Vol. 96, no. 8. – P. 1827–1853.

15. **Mechanisms** of Archean crust formation inferred from high-precision HFSE systematics in TTGs / J. E. Hoffmann, C. Münker, T. Næraa et al. // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 2011. – Vol. 75. – P. 4157–4178.

16. **Moll E. J.** Geochemistry and petrology of Mid-Tertiary ash flow tuffs from the Sierra el Virulento Area, eastern Chihuahua, Mexico // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – Vol. 86, Issue B11. – P. 10321–10334.

17. **Peccerillo A., Taylor S. R.** Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastomonon area, northern Turkey // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.

18. **Pleistocene** high-silica rhyolites of the Coso Volcanic Field, Inyo County, California / C. R. Bacon, R. Macdonald, R. L. Smith, P. A. Baedeker // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. – 1981. – Vol. 86, Issue B11. – P. 10223–10241.

19. **Scott S. D., Barnes H. L.** Sphalerite geothermometry and geobarometry // *Economic Geology*. – 1971. – Vol. 66, no. 4. – P. 653–669.

20. **Wasson J. T., Kallemeyn G. W.** Composition of chondrites // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1988. – A325, vol. 201. – P. 535–544.

21. **White N. C., Hedenquist J. W.** Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration // *SEG Newsletter*. – 1995. – No. 23. – P. 1–9.

REFERENCES

1. Vinogradov A.P. [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the



Earth's crust]. *Geokhimiya – Geochemistry*, 1962, no. 7, pp. 555–572. (In Russ.).

2. Gusev A. I. [To the geochemistry of accessory pyrite of the Koshradab massif in Western Uzbekistan]. *Aktual'nye problemy geologii, geofiziki i metallogenii. Materialy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu sozdaniya IGIg i 105-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Kh.M. Abdullaeva* [Actual problems of geology, geophysics and metallogeny. [Proceedings of the Conference dedicated to the 80th anniversary of the creation of the IGIg and the 105th anniversary of the birth of Academician Kh.M. Abdullayev]. Tashkent, 2017, pp. 229–232. (In Russ.).

3. Gusev A.I., Tabakaeva E.M. *Kriterii produktivnykh magmaticheskikh kompleksov Altayskogo regiona na zolotoe orudnenie* [Criteria of productive igneous complexes of the Altai Region for gold mineralization]. Biysk, AGAO Publ., 2014. 145 p. (In Russ.).

4. Vartanyan S.S., Shchepotyev Yu. M., Zaytsev A.I., et al. [Gold deposits of non-traditional types is a basis of strengthening the resource base in the areas of gold mining in Altai]. *Rudy i metally*, 2006, no. 3, pp. 5–13 (In Russ.).

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

6. Bagby W.C., Cameron K.L. Cameron M. Contrasting evolution of calc-alkalic volcanic and plutonic rocks of western Chihuahua, Mexico. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 1981, vol. 86, issue B11, pp. 10402–10410.

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

8. Cameron M., Bagby W.C., Cameron K.L. Petrogenesis of Voluminous mid-Tertiary ignimbrites of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1980, vol. 74, no. 3, pp. 271–284.

9. Corbett G. Anatomy of porphyry-related Au-Cu-Ag-Mo mineralised systems: Some exploration implications. *Australian Institute of Geoscientists North Queensland Exploration Conf*, 2009, AIG Bulletin 49, pp. 33–46.

10. Dekov V.M., Rouxel O., Kouzmanov K., et al. Enargite-luzonite hydrothermal vents in Manus Back-

Arc Basin: submarine analogues of high-sulfidation epithermal mineralization. *Chemical Geology*, 2016, vol. 438, pp. 36–57.

11. Foley S.F., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature*, 2002, vol. 417, pp. 837–840.

12. Hildreth W. Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 1981, vol. 86, issue B11, pp. 10153–10192.

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

14. John D.A. Miocene and Early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the Northern Great basin, Western United States: characteristics, distribution, and relationship to magmatism. *Economic Geology*, 2001, vol. 96, no. 8, pp. 1827–1853.

15. Hoffmann J.E., Münker C., Næraa T., et al. Mechanisms of Archean crust formation inferred from high-precision HFSE systematics in TTGs. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2011, vol. 75, pp. 4157–4178.

16. Moll E.J. Geochemistry and petrology of Mid-Tertiary ash flow tuffs from the Sierra el Virulento Area, eastern Chihuahua, Mexico. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 1981, vol. 86, issue B11, pp. 10321–10334.

17. Peccerillo A., Taylor S.R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastomonon area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol*, 1976, vol. 58, pp. 63–81.

18. Bacon C.R., Macdonald R., Smith R.L., Baedeker P.A. Pleistocene high-silica rhyolites of the Coso Volcanic Field, Inyo County, California. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 1981, vol. 86, issue B11, pp. 10223–10241.

19. Scott S.D., Barnes H.L. Sphalerite geothermometry and geobarometry. *Economic Geology*, 1971, vol. 66, no. 4, pp. 653–669.

20. Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Composition of chondrites. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1988, A325, vol. 201, pp. 535–544.

21. White N.C., Hedenquist J.W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration. *SEG Newsletter*, 1995, no. 23, p. 1–9.

© А.И. Гусев, 2019



УДК 553.461.061.2:552.3(234.85)

ГИПЕРБАЗИТЫ – ПИКРОБАЗИТЫ И ХРОМИТОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

В. Л. Хомичев

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

На Урале установлена гетерогенность серпентинитов (ультрабазитов), напрямую определяющая перспективы хромитового оруденения. В узкой Тагильской разломной мегазоне (западная часть региона) широко развиты крупные протяженные тела серпентинитов (ультрабазитов) альпинотипной дунит-гарцбургитовой формации, с которыми связаны месторождения хромитов. А в прилегающей с востока широкой брахиформного строения Восточно-Уральской мегазоне преобладают гранитоидные массивы (выступы Салдинского плутона на глубине) и сопутствующие мелкие тела габбро и серпентинитов. Последние ошибочно относят также к альпинотипному комплексу и прогнозируют в них хромитовое оруденение. Однако это совсем другие ультрабазиты: они представляют собой ранние фазы становления (кристаллизаты) габбро-гранитоидной формации, бесперспективные на хромиты. На огромной территории к востоку от Урала такие пикробазиты необоснованно относят к альпинотипным гипербазитам, что приводит к ошибкам в планировании поисковых работ.

Ключевые слова: альпинотипные гипербазиты, габбро-гранитные пикробазиты, хромитовое оруденение.

HYPERBASITES – PICROBASITES AND CHROMITE MINERALIZATION

V. L. Khomichev

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

In the Urals (in particular, on sheet O-41-XIII), the heterogeneity of serpentinites (ultrabasites) that directly determines the prospects for chromite mineralization is established. In the west, in the narrow Tagil faulting megazone, large extended bodies of serpentinites (ultrabasites) of the alpine-type dunite-harzburgite formation, with which the chromite deposits are associated, are widely developed. And in the wide Eastern-Urals megazone of brahiform structure adjacent from the east, granitoid massifs (protrusions of the Salda pluton at depths) and accompanying small bodies of gabbros and serpentinites prevail. The latter are also mistakenly related to the alpine-type complex and predict a chromite mineralization in them. However, these are completely different ultrabasites which represent the early phases of the formation (crystallizates) of a gabbro-granitoid formation, unpromising for chromites. Unfortunately, in the vast territory east of the Urals, such picrobasites are indiscriminately attributed to alpine-type hyperbasites, which has led to errors in prospecting planning.

Keywords: alpine-type hyperbasites, gabbro-granite picrobasites, chromite mineralization.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-94-105

Благодаря разработанной в СНИИГГиМСе программе вычисления плотностных и магнитных характеристик пород на больших глубинах [5], в последние 10–15 лет активно проводились исследования по внутреннему строению рудоносных гранитоидных плутонов. При этом была обнаружена гетерогенность ультрабазитов, до того повсеместно и необоснованно рассматривавшихся как альпинотипная гипербазитовая формация. Отправным ключевым объектом стал Салдинский плутон на Северном Урале, в бассейне рек Салда и Тагил (лист O-41-XIII Госгеолкарты). В тектоническом отношении он размещается внутри брахиформных структур Восточно-Уральской мегазоны, которая на западе по Главному Уральскому глубинному разлому сопрягается с линейной Тагильской мегазоной узких напряженных меридиональных складок (рис. 1) Обе глобальные структуры кардинально различаются по характеру аномалий в полях плотности и намагниченности пород и содержанию магматических формаций [6].

В Тагильской мегазоне господствуют ультраосновные породы, мощные линейные тела которых протягиваются далеко на север и юг, образуя огром-

ные пояса: Серовско-Невьянский, Миасско-Кацбахский, Айдырлинский, Войкаро-Салетинский (на всю протяженность Урала – более 1000 км) (рис. 2). На поверхности тела представлены апогарцбургитовыми серпентинитами, на глубине 1400–4000 м переходящими в первичные дуниты и перидотиты. Гипербазитам сопутствуют редкие мелкие тела габбро, диоритов и плагиогранитов, которые рассматривались как поздние дифференциаты ультраосновной магмы. Однако в легенде к карте в силу необдуманного комплексотворчества Среднеуральская ультрабазитовая серия разделена на три комплекса: серовский дунит-гарцбургитовый O_{1-2} , устьейский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый O_3 и левинский плагиогранитовый S_1 . Эта последовательность, по мнению авторов легенды, отражает обычную эволюцию раннепалеозойской островной дуги и как будто усиливает достоверность принятого расчленения, а на наш взгляд, в дополнение к пространственно-временной сопряженности, свидетельствует об их родстве и принадлежности к одному магматическому процессу (к одной формации альпинотипных гипербазитов).



Рис. 1. Генерализованная геологическая карта и модельный разрез Салдинского габбро-гранитного плутона (Северный Урал, лист О-41-ХIII) [5]

1 – вмещающая толща; 2 – плагиограниты, диориты серовского комплекса; 3–4 – Салдинский плутон: 3 – гранитоиды, 4 – габбро, диориты; 5 – пикробазиты Салдинского плутона (а) и гипербазиты серовского комплекса (б), 6 – месторождения (а) и рудопроявления (б) хромита

Валидность перечисленных комплексов несостоятельна по ряду причин [8]:

1. Мелкие разобщенные тела габбро, диоритов и плагиогранитов уже по этому внешнему признаку не могут представлять собой самостоятельные региональные единицы. Локального мелкомасштабного магматизма вообще быть не может [7].

2. Они так тесно постоянно сопряжены с крупными телами серпентинитов, что невольно возникает мысль о прямой связи между ними. Применительно к таким случаям Ю. А. Кузнецов считал, что пространственное сонахождение магматических пород не является случайным, а свидетельствует об их сопроисхождении [2].

3. Несомненная прямая генетическая связь тектоники и магматизма предопределяет:

а) приуроченность магматического комплекса к «своей» определенной тектонической структуре; соответственно, серовский, устьейский и левинский комплексы должны иметь каждый свою тектоническую позицию, чего в действительности нет, и одна для всех тектоническая структура свидетель-

ствует об их принадлежности к одному магматическому процессу;

б) протяженная линейная глубинная структура (разломная зона) должна порождать такие же крупные глубоко погружающиеся магматические тела, а не рассеянную мелочь.

Таким образом, выделение трех комплексов в одной структуре Главного Уральского глубинного разлома – это негативное следствие непродуманного формационного анализа, выполненного во ВСЕГЕИ. Эти комплексы следует рассматривать в качестве одного дифференцированного магматического процесса, первичной для которого была ультраосновная магма, близкая по составу местному пикриту по Р. Дэли (табл. 1).

В Восточно-Уральской мегазоне характер структур и магматизма совершенно иные. Во вмещающих толщах преобладают брахиформные и интрузивно-купольные антиклиналы, разделенные узкими синклиналиными складками. В них широко развиты конформные изометричные (порой кольцевые) гранитоидные массивы с подчиненным участием габ-

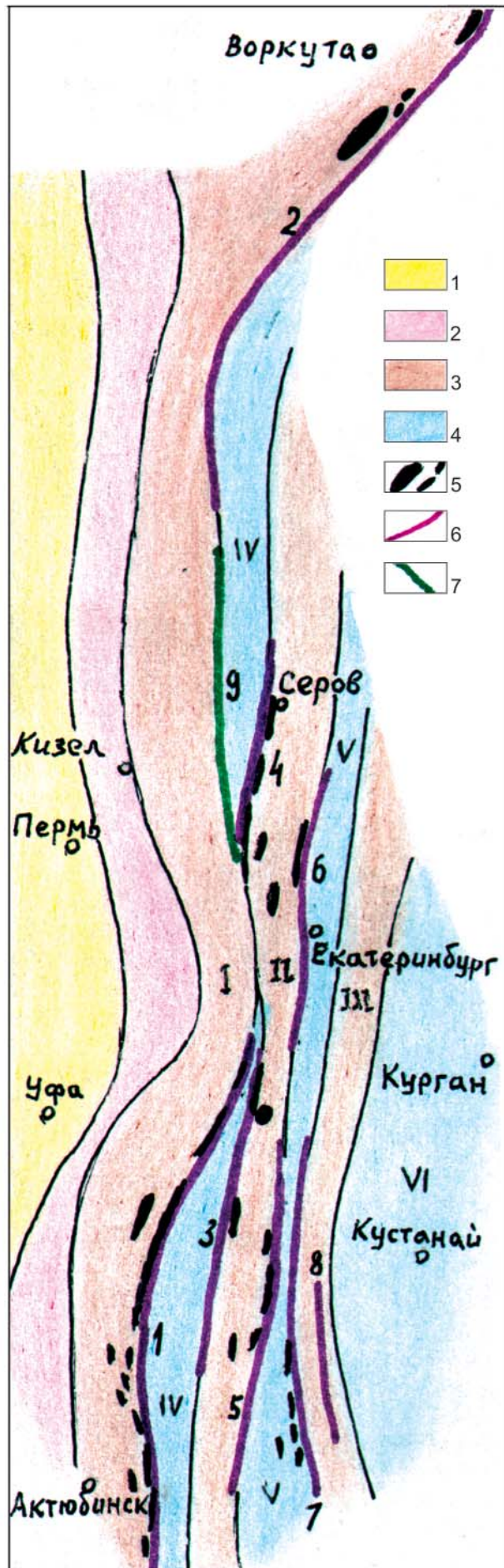


Рис. 2. Размещение альпинотипных гипербазитов Урала (по [3])

1 – краевая часть Русской платформы; 2 – Предуральский прогиб; 3 – поднятия (I – Центрально-Уральское, II – Восточно-Уральское, III – Зауральское); 4 – погружения (IV – Тагил-Магнитогорское, V – Восточно-Уральское, VI – Тургайское); 5 – ультрабазиты дунит-гарцбургитовой формации; 6 – пояса альпинотипных гипербазитов (1 – Уфалейско-Кемпирсайский, 2 – Войкаро-Салатимский, 3 – Миасско-Кацбахский, 4 – Серовско-Невьянский, 5 – Айдырлинско-Татищевский, 6 – Алапаевско-Теченский, 7 – Полтавско-Киембайский, 8 – Джетыгаринско-Аккарчинский); 7 – Платиноносный пояс

броидов, а серпентиниты имеют третьестепенное значение (см. рис. 1). И морфология их тел отнюдь не линейная по разломам, а неправильно-изомеричная в периферии гранитоидных штоков и кольцевых интрузий. Порой узкие тела серпентинитов причудливо изгибаются (равно как гранитные и габброидные), используя складчатую структуру (вплоть до микроскладок) вмещающей толщи. Серпентиниты тесно ассоциируют с преобладающими гранитоидами и особенно габброидами и представляют собой ранние производные последних (раннюю фазу становления одной глубоко дифференцированной габбро-гранитной ассоциации [6]), которую авторы легенды и карты в соответствии с модным в последнее время комплексотворчеством расчленили на девять мелких явно невалидных подразделений. В частности, серпентиниты совершенно необоснованно, только по вещественному составу отнесли к серовскому комплексу принципиально иной Тагильской мегазоны, что даже с формальной стороны неправомерно. Ультрабазиты Восточно-Уральской мегазоны совсем другие, это ранние фазы и фации нормальной базальтовой магмы (табл. 2), с которых начинается кристаллизация (дифференциация) основного расплава. Объем их сравнительно невелик, и, соответственно, невелика их роль в рудообразовании даже на участках широкого развития.

Гетерогенность ультрабазитов Тагильской и Восточно-Уральской мегазон наглядно проявляется в поперечном глубинном разрезе АБ. Первые представлены мощным глубинным телом в пределах Главного Уральского разлома (типичные альпинотипные гипербазиты), а вторые – это небольшие изолированные тела (фации) в огромном горизонтально-расслоенном Салдинском габбро-гранитном плутоне. С них начинается становление (ранние кристаллизаты) плутона, и они быстро сменяются нормальными габброидами и затем гранитоидами, не имея ничего общего с альпинотипными гипербазитами. Этим логично объясняются различия в хромитонности обеих мегазон. С крупнообъемными телами альпинотипных гипербазитов Тагильской мегазоны связано 47 проявлений хромитов, в том числе 10 месторождений. Рудные тела в форме крупных штоков и линз находятся главным образом в дунитах офиолитовой группы формаций

Таблица 1

Химический состав пород (%) дунит-гарцбургитовой формации Урала [3] и исходный состав магмы серовского комплекса

Порода	Объем,%	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Коэф. Хесса
Дунит	20	40,46	0,01	0,77	8,62	48,49	0,20	0,03	0,01	5,4
Гарцбургит	40	45,35	0,01	2,34	8,50	32,61	0,38	0,06	0,01	3,7
Верлит	15	48,60	0,16	3,01	8,30	29,30	10,40	0,23	0,03	3,6
Габброиды	10	47,90	0,69	13,11	10,00	11,30	11,03	1,93	0,40	1,1
Диориты	5	56,77	0,84	16,67	7,00	4,17	6,74	3,39	2,12	0,6
Плагииграниты	5	69,07	0,61	13,29	4,50	1,71	1,24	6,39	0,48	0,4
Средний состав										
магмы серовского комплекса		43,63	0,18	4,41	9,97	29,30	3,18	0,77	0,10	2,9
формации		43,47	0,02	1,75	8,19	44,76	0,96	0,06	0,01	5,6
Пикритовый порфирит		39,70	1,63	6,40	7,10	23,00	5,00	0,70	0,25	3,3
Пикрит по Р. Дэли		41,30	0,81	9,43	14,00	19,94	8,01	1,20	0,39	1,4

Таблица 2

Химический состав (%) пород Салдинского габбро-гранитоидного плутона и исходный состав его первичной магмы

Порода	Объем,%	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Коэф. Хесса
Серпентинит	10	39,12	0,05	1,41	7,20	36,81	1,40	0,12	0,04	5,3
Габбро	60	49,05	1,30	17,55	8,50	7,00	9,00	3,60	0,85	0,9
Монцодиорит	10	59,10	1,65	16,90	6,00	3,60	5,45	4,60	1,10	0,7
Гранодиорит	10	66,85	0,38	16,00	3,25	1,36	3,00	4,36	2,15	0,5
Гранит	10	72,19	0,19	14,75	2,00	0,65	1,73	4,14	3,09	0,3
Исходная магма		49,14	1,00	15,44	6,99	8,44	6,55	3,48	1,64	1,1
Габбро по Р. Дэли		49,50	0,84	18,00	8,50	6,62	10,64	2,82	0,98	0,9
Базальт по Р. Дэли		48,78	1,39	15,85	11,20	6,03	8,91	3,18	1,61	0,5

(дунит-гарцбургитовой, дунит-верлит-габбровой, дунит-клинопироксенит-габбровой). В центре тел руды массивные с содержанием Cr₂O₃ от 35–40 до 55–58 %, к периферии сменяются густовкрапленными с 12–35 % Cr₂O₃.

Масштабы хромитонности, как известно, зависят от размеров ультрабазитовых массивов. В Тагильской зоне крупные тела при расслоении (в том числе ликвационным путем) способны отсадить значительные массы хромита, а из мелких тел ультраосновных пород Восточно-Уральской зоны при любых условиях существенное количества хромита накопиться не может. Этот критерий формационной принадлежности ультрабазитов является ведущим в оценке перспектив хромитонности. Только пояса альпинотипных гипербазитов (производных первичной ультраосновной мантийной магмы) обладают необходимым для промышленного оруденения потенциалом. Мелкие тела ультраосновных пород, с которых начинается кристаллизационная дифференциация нормальной базальтовой магмы, таким потенциалом не обладают. В телах этого габбро-гранитного формационного типа эволюция протекает с накоплением летучих и рудных компонентов в остаточном лейкогранитовом расплаве, благодаря чему он естественным путем становится источником рудно-магматических систем месторождений цвет-

ных, редких и благородных металлов [5], но в отношении хромитового оруденения бесперспективен.

При решении актуальной проблемы дефицита хромитового сырья исходят исключительно из размеров тел ультрабазитов, а о формационной их принадлежности вопрос не ставится, так как все тела ультраосновного состава (серпентинитов) в любой геологической ситуации априори относят к автономным альпинотипным гипербазитам, даже если они небольшие и изолированные, а отнюдь не пояса глубокого заложения и протяженности.

К примеру, на Кузнецком Алатау испокон веков выделяют Саланский гипербазитовый пояс, хотя здесь небольшие единичные массивы и группы мелких тел ультраосновных пород размещаются в нескольких разобщенных узлах, а непрерывного пояса, как на Урале, в Тагильской мегазоне, фактически нет (рис. 3). Во многих местах региона мелкие линзы серпентинитов вписываются в более крупные тела габброидов как их фации вне связи с разломами, однако по привычке, не задумываясь, их выделяют в самостоятельный саланский комплекс альпинотипных гипербазитов, как, например, в Кундустульском габбро-диорит-плагиигранитовом штоке [8].

Магматизм в Кузнецком Алатау гранитоидный, поскольку является производным огромного (на всю



Рис. 3. Размещение пикробазитов в Кузнецком Алатау, по [4]

1 – вмещающая толща; 2 – габбро-сиенитовые массивы (D); 3–6 – тигертышский комплекс (S–D): 3 – гранитоиды, 4 – монцодиориты, 5 – габбро, 6 – пикробазиты (серпентиниты)

площадь региона) Тигертышского батолита. С гранитоидами ассоциируют (преимущественно по периферии) меланократовые породы (монцодиориты, габбро) и серпентиниты (мартайгинский комплекс). Показательна в этом отношении юго-западная часть Тигертышского плутона со Среднетерсинским мас-

сивом ультрабазитов (рис. 4). В геологическом строении района следует отметить такие особенности.

Во-первых, здесь развита блоковая тектоника, а единого мощного глубинного разлома, который бы контролировал ультрабазиты, нет. В их размещении главную роль играют складчатые структуры, с которыми ультрабазиты имеют преимущественно конформные отношения.

Во-вторых, Среднетерсинский массив состоит из нескольких относительно небольших и мелких тел, образующих в сумме открытую на северо-восток дугу, продольная ось которой диагонально ориентирована к субмеридиональной вытянутости структур региона.

В-третьих, внутреннее строение Среднетерсинского массива, по О. Г. Коноваловой и Н. А. Прусевичу, имеет зонально-кольцевую морфологию, очень напоминающую конические интрузии по Е. В. Свешниковой [4]. Внешняя и подошвенная его зоны сложены дунитами и перидотитами, причем дуниты образуют лишь маломощную дугу в юго-западном контакте, а за ними следует полосчатый верлит-дунит-клинопироксенит-габбровый комплекс. Обширная внутренняя область состоит из гранитоидов. По всему массиву, но особенно в полосчатом комплексе и гранитоидах внутренней области, много мелких тел и даек основного (диабазы, габбро- и диорит-порфириды) и кислого (граниты, сиениты) состава, а также лампрофиров, весьма характерных для габбро-гранитных плутонов [6, 7].

По геофизическим материалам 1970-х гг. Среднетерсинский массив рассматривался как лополит с крутыми падающими внутрь бортами и субгоризонтальным основанием. Зона ультраосновных пород не представляет собой единого тела, а состоит из разобренных линзообразных блоков, суммарным объемом около 25 % всего массива. Значительная доля приходится на полосчатый комплекс и гранитоиды. Иными словами, Среднетерсинский массив нельзя относить к альпинотипным ультрабазитам. Он аналогичен Салдинскому габбро-гранитному плутону.

Химический состав пород довольно устойчивый [4], что позволяет, исходя из экспертной оценки объемных соотношений пород, даже по ограниченному числу анализов примерно подсчитать состав исходной магмы (табл. 3).

Таблица 3

Примерный состав (%) исходной магмы Среднетерсинского базит-гипербазитового массива по [1]

Порода	Объем, %	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Козф. Хесса
Дунит	10	38,53	0,05	1,17	4,00	44,10	0,28	0,12	0,01	11,0
Серпентинит, гарцбургит	15	40,02	0,07	1,23	4,50	40,85	0,30	0,23	0,05	10,0
Габбро	50	48,05	1,36	17,08	10,50	5,73	9,53	3,54	1,45	0,6
Монцодиорит	15	56,10	0,85	17,85	6,80	3,00	6,00	4,80	2,80	0,5
Гранит	10	71,72	0,21	14,88	2,75	0,48	1,34	4,47	3,78	0,2
Исходный состав магмы		49,45	0,87	12,99	7,59	13,83	5,87	2,99	1,58	2,0

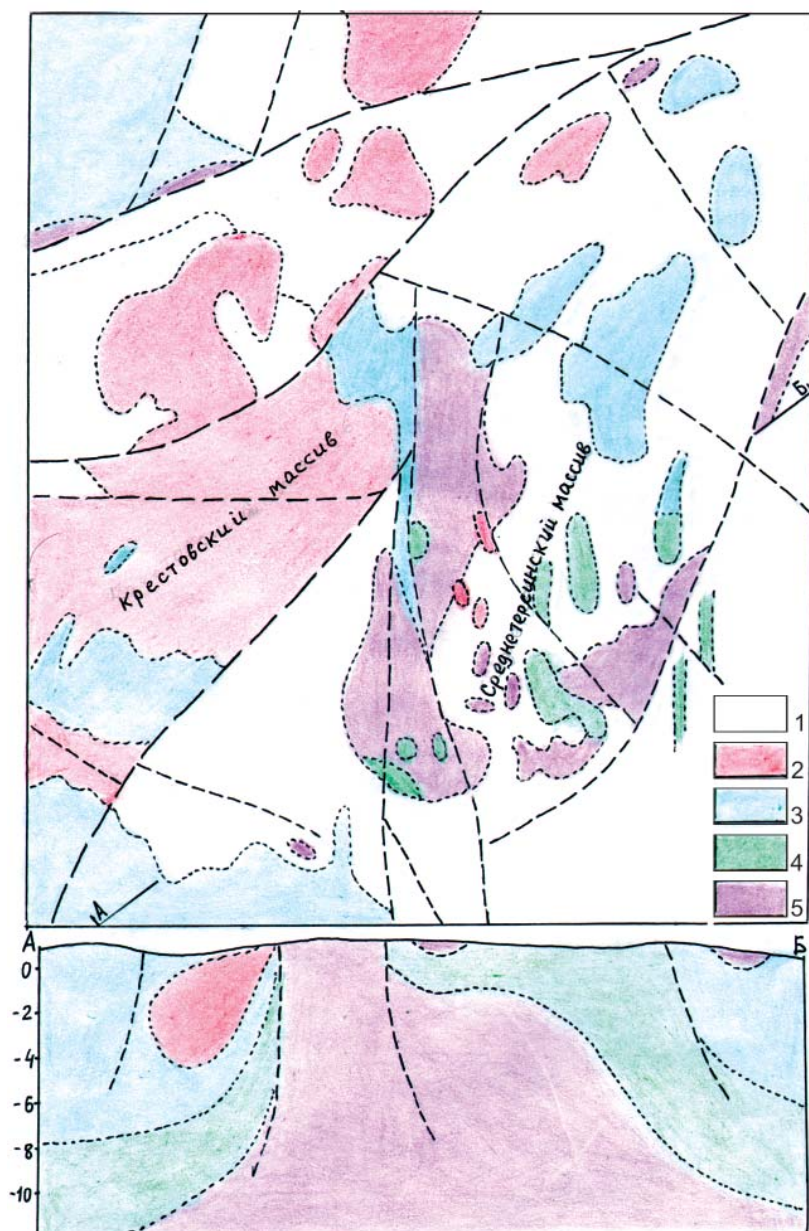


Рис. 4. Геологическая карта Среднетерсинского массива гипербазитов [5] и модельный глубинный разрез

1 – вмещающая толща (Є); 2–5 – тигертышский комплекс: 2 – гранитоиды, 3 – монцодиориты, 4 – габбро, 5 – серпентиниты (пикробазиты)

Несмотря на явно недостаточную точность расчетного состава, можно принять, что исходная магма отвечает статистическому габбро-базальту по Р. Дэли с отклонениями в сторону ультрабазитов (повышенное содержание FeO и CaO). По сравнению с Салдинским плутоном в исходной магме Среднетерсинского массива больше MgO ($\approx 5\%$) и меньше Al_2O_3 (2,5%), а в целом составы близкие.

В модельном глубинном разрезе АБ фациальные вещественно-структурные отношения всего набора пород выглядят очень убедительно: Среднетерсинский массив не имеет самостоятельной позиции, а представляет собой изометричный шток-выступ Тигертышского плутона (см. рис. 4). Ультрабазиты залегают в основании батолита и сменяются (снизу вверх) габброидами, а те – диоритами и гранитами. Только в Среднетерсинском выступе они выходят на поверхность в виде полукольца, используя структуру вмещающей толщи. Значит, это не альпинотипные гипербазиты – производные

первичной ультраосновной магмы, а ранняя фаза становления мартайгинского габбро-гранитоидного комплекса в составе Тигертышского плутона. Возникла вся ассоциация его пород в результате внутрикамерной дифференциации базальтовой магмы. В генетическом отношении это аналог Салдинского плутона Восточно-Уральской мегазоны, поэтому значимого хромитового оруденения в Среднетерсинском массиве ожидать не приходится, и этот вывод вопреки надеждам многих энтузиастов подтвержден поисково-оценочными работами разных лет [4]. В Среднетерсинском массиве выявлено шесть рудопроявлений хромитов – очень небольшие (мощностью первые метры) гнездо- и жилообразные тела полосчато-вкрапленных («рябчиковых», «маковых») руд с низким содержанием Cr_2O_3 . Сколько затрат труда, времени, денег можно было бы избежать, если бы исследователи обратили внимание на гетерогенность ультрабазитов: с одной стороны, производных самостоятельной ультраосновной магмы

(альпинотипных гипербазитов), с другой – ранних мелких дифференциатов нормальной базальтовой магмы (базальтоидные ультрабазиты). Последние можно было бы сразу исключить из числа перспективных поисковых объектов. А «гранитоидным ультрабазитам» несть числа на огромной территории к востоку от Урала.

В отношении хромитоносности интересны ультрабазиты Западного Саяна, на двух массивах которого проводились поисково-оценочные работы. Здесь издавна выделяются обрамляющие Западный Саян глубинные разломы – Куртушибинский (на границе со структурами Тувы), Изыхский (на границе с Минусинской впадиной) и Борусский (южнее Изыхского). В них локализованы кембрийские эвгеосинклинальные зоны и офиолитовые пояса (Актовракский, Борусский, Изыхский). Однако в пределах весьма протяженных глубинных разломов ультрабазиты слагают небольшие и очень мелкие тела, группирующиеся в локальные узлы, разделенные длинными «пустыми» промежутками. Но нет крупных монолитных массивов, как в Тагильской мегазоне Урала. В самом представительном Куртушибинском глубинном разломе первые ультрабазиты появляются на Актовракском месторождении асбеста в виде мелких разобщенных линз серпентинитов (необоснованно принятых за петротип одноименного комплекса). Лишь в 60 км к северо-востоку находится второй узел ультрабазитов – относительно крупный Саянский массив и несколько мелких сателлитов. Третий узел расположен на окончании Куртушибинского разлома и включает небольшие Эргакский, Калнинский, Хугский массивы (рис. 5).

На первых двух проводились поисково-оценочные геолого-геофизические работы на хромиты. Оруденение представлено мелкими разобщенными линзами преимущественно вкрапленных руд с низким содержанием Cr_2O_3 . Судя по подсчету запасов и ресурсов, это небольшие месторождения, перспектив обнаружения крупных объектов нет. Борусская и Изыхская зоны в этом отношении еще более бесперспективны.

Во всех узлах ультрабазиты ассоциируют не только с габброидами, но и с нормальными и субщелочными гранитоидами, которые в целом преобладают (см. рис. 5). В региональном плане восточная часть Западного Саяна имеет зональное строение – это слегка вытянутый синклиниорий, узкие периферийные борта которого сложены меланократовыми породами (ультрабазитами, габброидами, вулканогенными отложениями кембрия), а обширная внутренняя область – гранитоидами и флишоидными осадками ордовика и силура. В целом структура Западного Саяна крупноблоковая, а линейные структуры сосредоточены только в узких глубинных разломах. Это подтверждается гравимагнитными картами: с краевыми меланократовыми зонами совпадают положительные геофизические аномалии, а внутренняя область фиксируется отрицательными полями с редкими локальными дугообразными и кольцевыми положительными аномалиями, свидетельствующими об участии габброидов в гранитоидном плутоне. Все это подтверждает генетическое единство ультрабазитов, базитов и гранитоидов, а самостоятельного актовракского комплекса не существует.

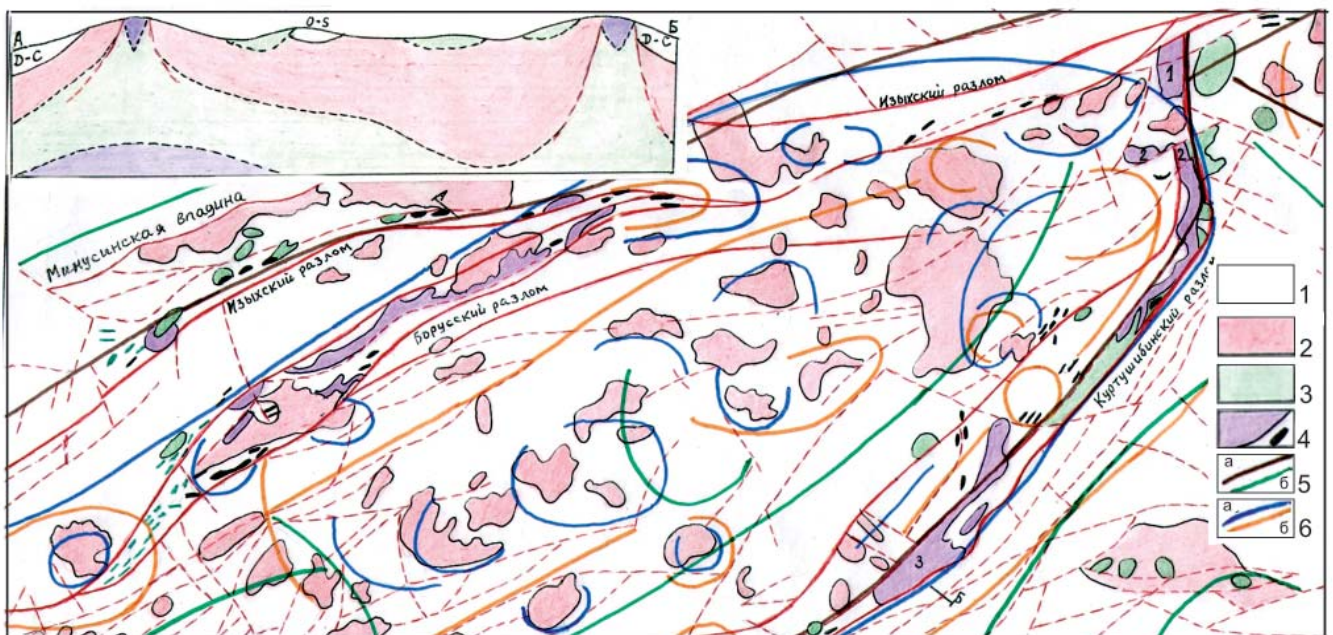


Рис. 5. Тектоно-магматическая система восточной части Западного Саяна (разрез АБ составлен путем геолого-геофизического моделирования)

1 – вмещающие отложения (аД), 2–4 – интрузивные породы: 2 – гранитоиды, 3 – габбро, 4 – ультрабазиты; 5–6 – оси положительных (а) и отрицательных (б) аномалий: 5 – гравитационного поля, 6 – магнитного поля; массивы: 1 – Эргакский, 2 – Калнинский, 3 – Саянский

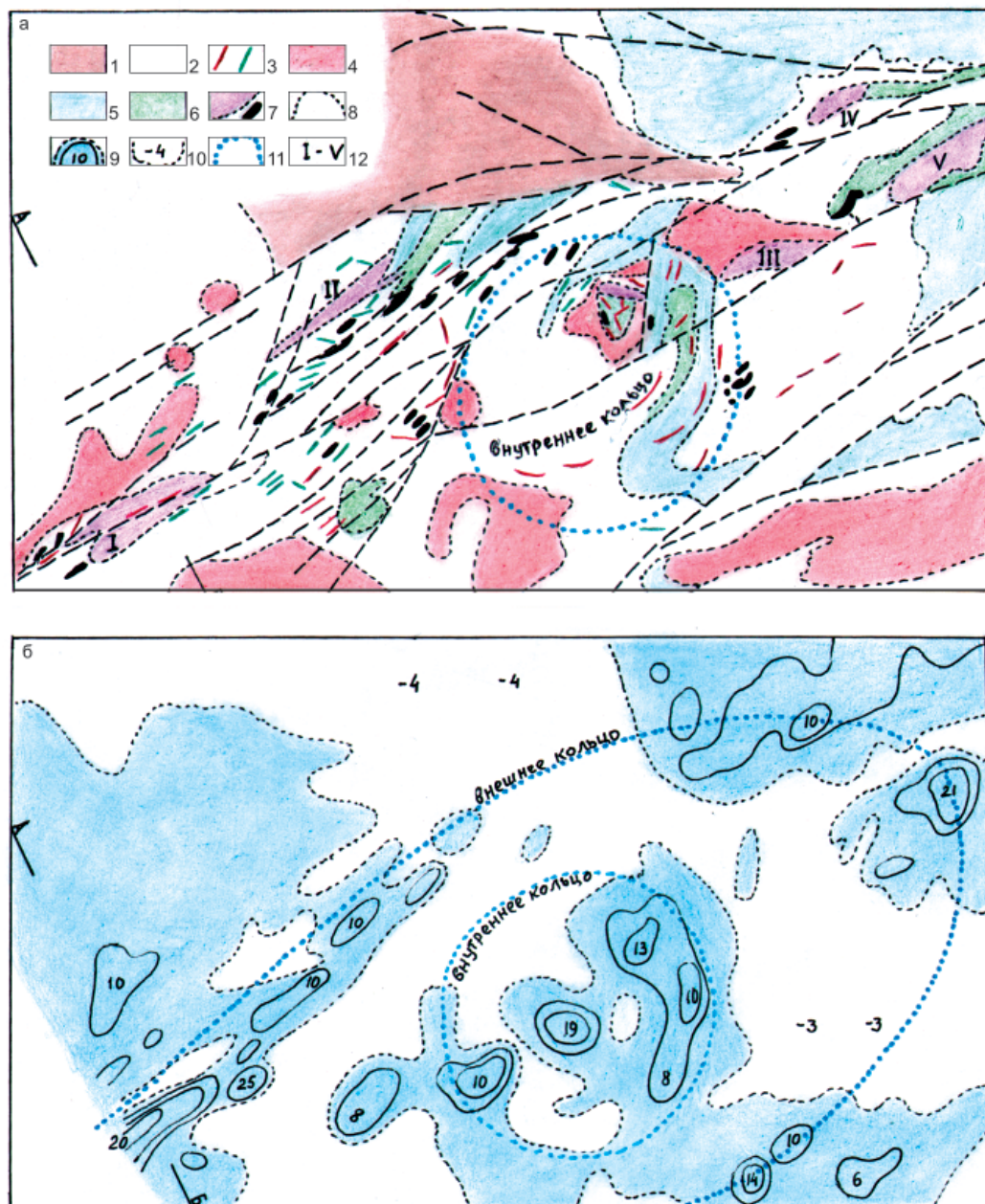


Рис. 6. Геологическая карта (а) и карта аномального магнитного поля (б) Западного Санги-лена (Тува)

1 – перекрывающие вулканогенно-осадочные отложения (S–D); 2 – вмещающая толща метаморфизованных вулканогенно-осадочных и гнейсовых пород (PR–E); 3–6 – таннуольский комплекс (E₂): 3 – дайки кислого и средне-основного состава, 4 – гранитоиды, 5 – монцодиориты, 6 – габбро; 7 – гипербазиты актовракского (?) комплекса; 8 – нулевая изолиния магнитного поля; 9–10 – магнитные поля: 9 – положительное, 10 – отрицательное; 11 – Тарлаш-кинская кольцевая структура; 12 – массивы пикробазитов: I – Агардагский, II – Карашатский, III – Тарлашкинский, IV – Кускунугский, V – Улорский

В модельном глубинном разрезе, построенном по пересчету наблюдаемых полей на вертикальную плоскость [5], ультрабазиты представляют маломощную приапикальную бескорневую фацию габброидов – начальный кратковременный дифференциат (кристаллизат) исходной базитовой магмы. Объем их не может быть большим, поэтому сколько-нибудь значимого количества хромита образоваться не могло, что и подтвердилось поисковыми работами.

Второй пример безуспешных поисков хромита в ультрабазитах базальтоидного (салдинского) формационного типа, аналогичных западносаян-

ским, – Агардагский массив. Он находится на западном окончании Сангиленского хребта (Центральная Тува), вытянут вдоль одноименного разлома в северо-восточном направлении на 20 км (площадь около 30 км²). На продолжении Агардаг-Эрзинской зоны глубинного разлома размещается еще четыре таких же массива меньшего размера и масса мелких тел серпентинитов (рис. 6), а за последним Улорским массивом ультрабазитов нет. Длина пояса, таким образом, составляет 120 км, но это не узкая насыщенная гипербазитами зона, как Тагильская на Урале, а серия разобщенных узлов преимуще-

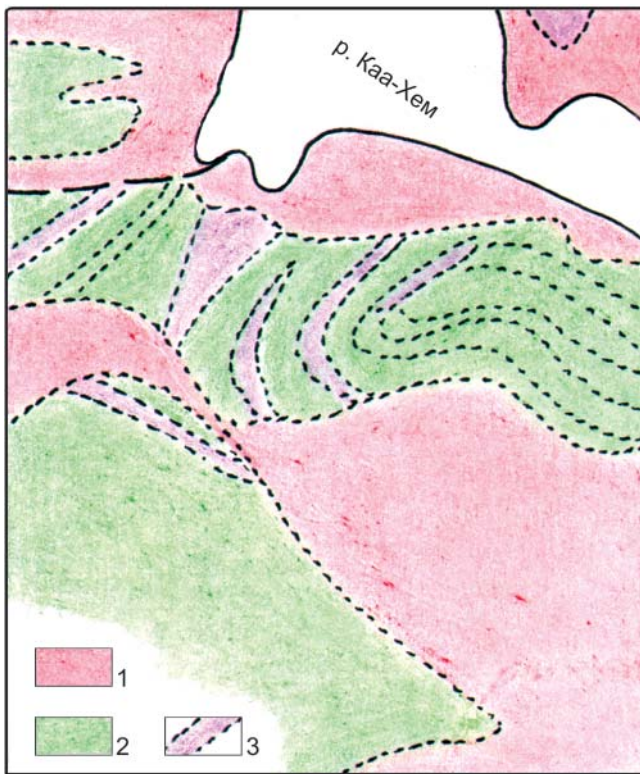


Рис. 7. Геологическая карта штока Брунган [8]
1 – граниты; 2 – чередование габбро, меланогаббро, пироксенитов; 3 – перидотиты

ственно мелких и очень мелких тел серпентинитов по гарцбургитам. Даже внешний облик Агардагской зоны не внушает оптимизма в отношении перспектив хромитового оруденения.

Геологическое строение Западного Сангиленя определяется широким развитием докембрийских гнейсов, кристаллических сланцев, амфиболитов с маломощными горизонтами мраморов и кварцитов. Выше с перерывом залегает толща зеленосланцевых пород осадочного происхождения с онколитами и археоциатами раннего кембрия и вулканогенные отложения того же возраста. Лишь по северо-западной границе с Восточно-Тувинским каледонским межгорным прогибом развиты слабо метаморфизованные терригенные породы (песчаники, алевролиты, гравелиты, известняки) силура и девона.

Интрузивные образования слагают около половины площади района. По официальной легенде на карте м-ба 1:200 000 они разделены на шесть

комплексов: эрзинский мигматит-гнейсогранитовый (PR₃), актовракий гипербазитовый (Є₂), таннуольский габбро-гранитный (Є₂), сархойский гранитовый (Є₂₋₃), бреньский гранит-граносиенитовый (D₁) и сангиленский сиенит-нефелин-сиенитовый (PZ₂₋₃). Валидность эрзинского комплекса, генетически тесно связанного с гранито-гнейсовыми толщами докембрия не вызывает сомнений, как и мелкие штоки молодого сангиленского габбро-сиенитового комплекса. Отношения одновозрастных актоврацкого и таннуольского комплексов, которые постоянно совмещаются и перемежаются, напротив, весьма неопределенны. Еще менее ясны отношения гранитоидов таннуольского, сархойского и бреньского комплексов, поскольку надежных диагностических признаков для них не установлено: с давних пор к таннуольским относили «серые» граниты, а к бреньским – «красные». Этот внешний, явно не генетический признак говорит о слабой обоснованности требований к валидности магматических подразделений, допускающих неограниченный субъективизм в формационном анализе. В качестве выхода из такого положения в СНИИГГИМС с 1989 г. начались работы по эталонам магматических комплексов. В частности, в 1992 г. подготовлен эталон таннуольского комплекса, в котором на примере массивов Брунган и Мажалык показано, что ультрабазиты входят в состав расслоенной габброидной фазы таннуольского комплекса и не являются отдельным подразделением (рис. 7).

Тот же вывод можно сделать из отношений ультрабазитов и габброидов, показанных на геологической карте и остаточном магнитном поле (см. рис. 6): первые не образуют отдельных обособленных тел и аномалий, а вписываются в общую с габброидами и диоритами зональную картину. Совершенно однозначно связь ультрабазитов с таннуольскими габброидами следует из модельного глубинного разреза АБ через Агардагский массив (см. рис. 8) и соседних (с востока) разрезов по другим массивам. Ультрабазиты вместе с габброидами образуют маломощную конформную оболочку над огромным гранитоидным плутоном. Они не имеют подводящего канала и, следовательно, не внедрялись, а образовались как ранняя подкровельная фаза кристаллизации исходного базальтоидного (а не ультраосновного) расплава.

Таблица 4

Состав исходной магмы (%) таннуольского комплекса на участке Агардаг

Порода	Объем, %	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Коеф. Хесса
Серпентинит	15	39,91	0,07	0,73	9,00	39,24	0,90	0,04	0,03	3,3
Габбро	50	50,32	0,97	16,21	10,20	6,10	9,56	2,78	0,85	0,6
Монцодиорит	15	59,14	0,74	16,30	7,20	3,26	6,50	3,50	1,46	0,4
Гранодиорит	10	66,61	0,52	15,13	4,50	1,66	4,00	3,78	2,20	0,4
Гранит	10	68,93	0,39	14,92	3,70	1,00	3,40	3,97	2,00	0,2
Исходная магма		47,36	0,70	14,61	8,34	9,63	7,08	2,86	1,15	1,2

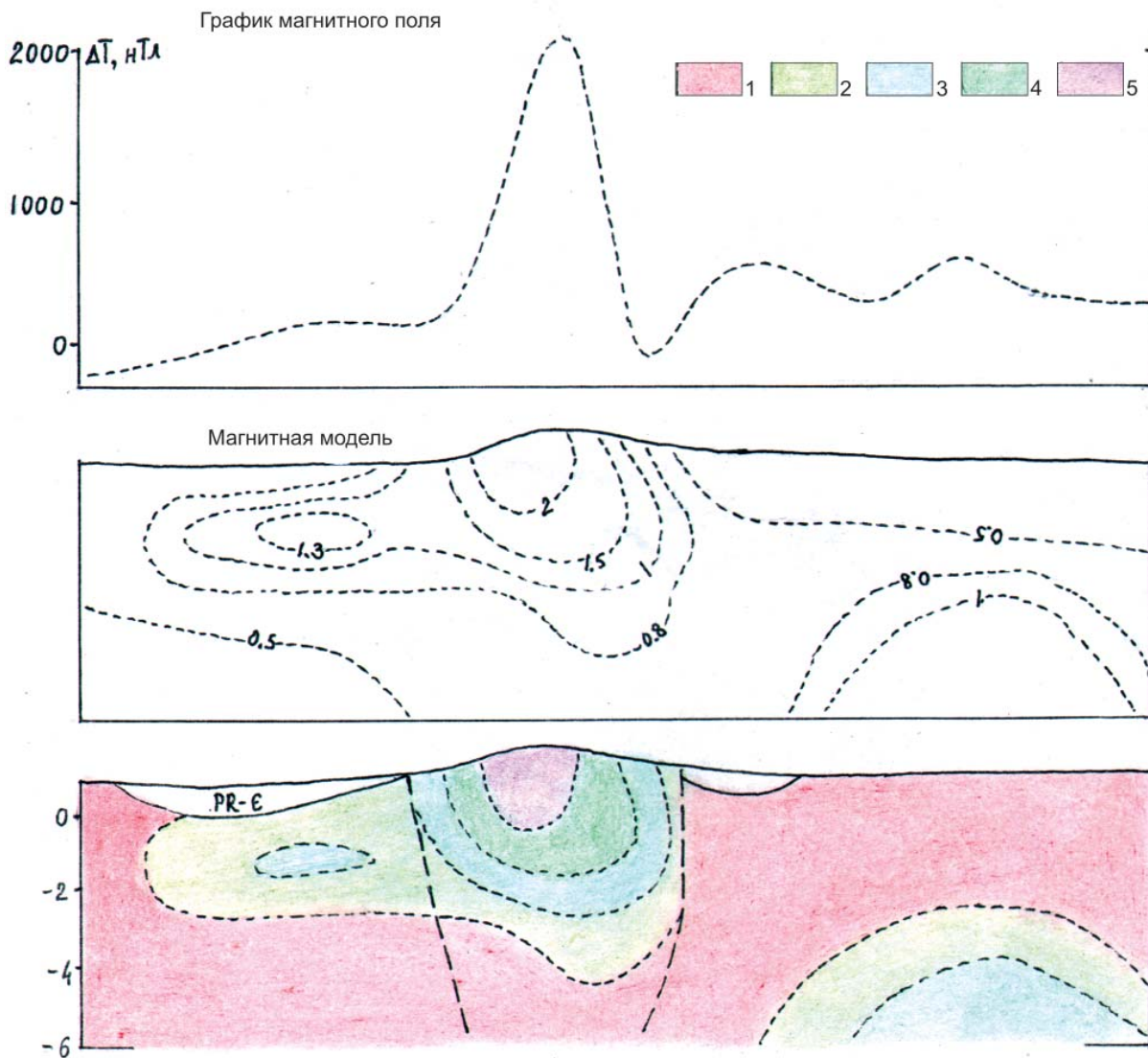


Рис. 8. Модельный геолого-геофизический разрез АБ через Агардагский массив
1 – граниты; 2 – гранодиориты; 3 – монцодиориты; 4 – габбро; 5 – пикробазиты

Это не альпинотипная дунит-гарцбургитовая формация, как до сих пор считается, а первый член длинной габбро-гранитной серии, объем которого не может быть большим, так как начальный парагенезис оливина и ортопироксена быстро сменялся минералами габбро (основной плагиоклаз, пироксен, роговая обманка). Аксессуарная хромшпинель значимых концентраций образовать не могла. Исходная магма таннуольского комплекса отвечает меланократовому магнезиальному базальту (табл. 4).

Поисково-оценочные работы на участке Агардаг показали, что массив представляет собой сложное линзовидное тело, согласное с вмещающими структурами. В его строении участвуют серпентиниты, листвениты, радингиты с относительно невысоким ($\approx 39\%$) содержанием MgO, а роль перидотитов и тем более дунитов невелика. Хромитовое оруденение прожилково-вкрапленного типа представлено мелкими гнездами и шлирами длиной 3–7 м, мощностью 1–2, иногда до 5 м. Содержание Cr_2O_3 10–30%. Всего выявлено 120 мелких рудопрояв-

лений, а возможность обнаружения даже средних месторождений до глубины 100 м оценивается отрицательно.

Из сказанного следует очевидный вывод, что ультрабазиты, представленные на поверхности главным образом серпентинитами, гетерогенны. Альпинотипная дунит-гарцбургитовая формация, перспективная в отношении хромитового оруденения, является продуктом высокомагнезиальной ультраосновной магмы. Крупные ее тела линейной формы локализуются в эвгеосинклинальных зонах вдоль сверхглубинных разломов, достигающих нижней недеплетированной мантии. Другой тип ультрабазитов – это многочисленные мелкие тела серпентинитов, которые ассоциируют с габбро-гранитоидными плутонами и представляют собой ранние кристаллизаты исходной нормальной базитовой магмы. Хромит в них играет роль аксессуарного минерала (а не рудообразующего, как в альпинотипных), и значимого оруденения в связи с ними ожидать не приходится.

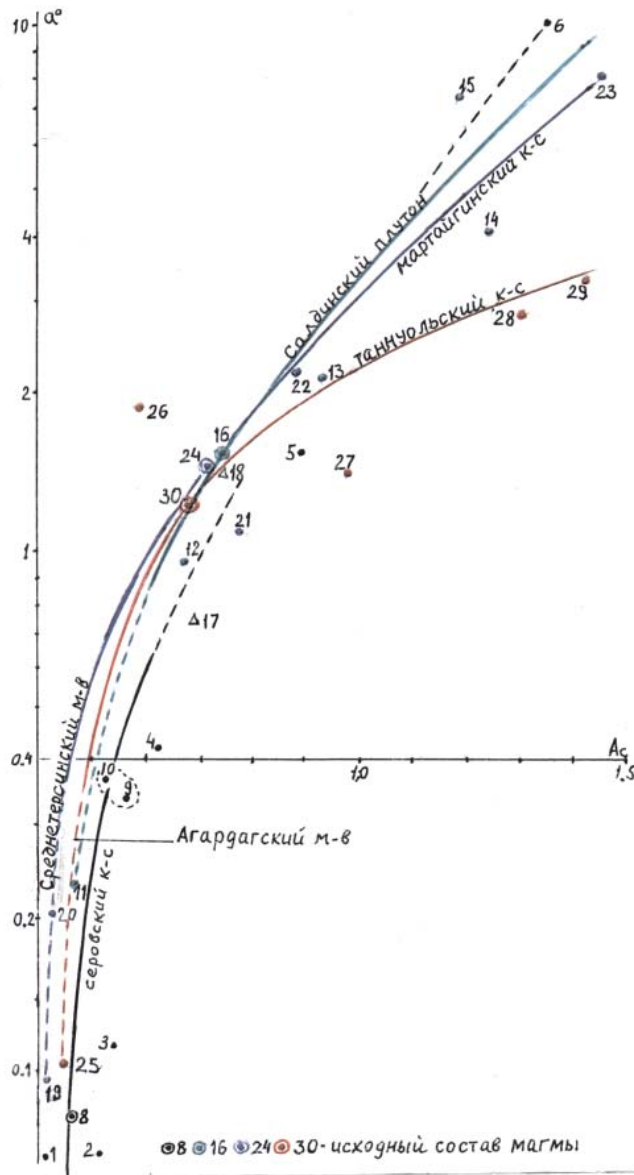


Рис. 9. Тренды гипербазитовой и базальтоидной магм. Сплошной линией обозначены интервалы преобладающих пород

Ю. А. Кузнецов в известной монографии по магматическим формациям [2] отметил гетерогенность ультрабазитов: альпинотипных и производных базитовой магмы (и с этим согласны многие петрографы). Границей между ними он считал соотношение MgO/FeO (коэффициент Хесса 6). Однако приведенным в табл. 1–4 данным этот коэффициент не отвечает: в серовском комплексе не достигает 6 даже в дунитах (5,4), в гарцбургитах опускается до 3,7, в серпентинитах Салдинского плутона составляет 5,3. Очевидно, данный коэффициент не является дискриминантным, поскольку минеральный состав тех и других ультрабазитов близкий. А вот составы исходного расплава по коэффициенту Хесса различаются: для серовского комплекса альпинотипных гипербазитов он равен 5,6, а для базальтовых ультрабазитов – 1,1–1,2.

Гетерогенность ультрабазитов наглядно показана на петрохимической диаграмме Л. С. Бородина,

в преимуществе которой при решении генетических вопросов мы убедились, когда составляли эталоны магматических комплексов (например, [9]). И в данном случае тренды Салдинского плутона, мартайгинского и танноольского габбро-гранитных комплексов практически совпадают с ультрабазитами второго типа, совпадают также составы их исходных магм, идентичных статистическому мировому габбро по Р. Дэли (рис. 9). Это не случайно. При обычном частичном плавлении мантии образуется эвтектоидная базальтовая магма – источник широко распространенных габбро-гранитных серий с минимальным количеством ультрабазитов. Серовский комплекс альпинотипных гипербазитов имеет тот же тренд, но набор ведущих пород отвечает узкому интервалу дунит-пикрогаббро при незначительном количестве кислых пород. Очевидно, его исходная гарцбургитовая магма образовалась при полном плавлении первичной мантии. И только с этим типом ультрабазитов возможно продуктивное хромитовое оруденение. Полное плавление мантии по сравнению с частичным явление редкое. Поэтому на огромной территории к востоку от Урала (к востоку от Тагильской мегазоны) нет поясов альпинотипных гипербазитов и значимых хромитовых месторождений. Это подтверждается формационным анализом ультраосновных ассоциаций, без которого найдется немало желающих получить бюджетное финансирование, только исходя из размеров массивов, под броские образцы, впечатляющие, но взятые с потолка прогнозы и прочие якобы основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалова О. Г., Прусевич Н. А. Дунит-гарцбургитовые массивы Кузнецкого Алатау и Салаира. – Новосибирск: Наука, 1977. – 166 с.
2. Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. – М.: Недра, 1964. – 385 с.
3. Малахов И. А. Петрохимия главных формационных типов ультрабазитов. – М.: Наука, 1983. – 223 с.
4. Перспективы создания базы хромового сырья Сибири (в пределах Сибирского федерального округа) / С. С. Долгушин, В. В. Жабин, И. Ю. Лоскутов, О. Г. Садур. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2019. – 239 с.
5. Садур О. Г. Моделирование геологических сред на основе вычисления их плотностных и магнитных характеристик в классе сложного распределения масс при решении различных геологических задач // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 1(9). – С. 96–101.
6. Хомичев В. Л. Петрологическая основа гранитоидных рудно-магматических систем. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2016. – 287 с.
7. Хомичев В. Л. Плутоны – дайки – оруденение. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. – 243 с.
8. Хомичев В. Л. Проблема валидности магматических комплексов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. – 80 с.



9. Хомичев В. Л., Кужельная Е. В., Хомичева Е. С. Каахемский массив – эталон таннуольского комплекса (Центральная Тува). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1992. – 130 с.

REFERENCES

1. Konovalova O.G., Prusevich N.A. *Dunit-gartsburgitovye massivy Kuznetskogo Alatau i Salaira* [Dunit-harzburgite massives of the Kuznetsk Alatau and Salair]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 166 p. (In Russ.).
2. Kuznetsov Yu.A. *Glavnye tipy magmaticheskikh formatsiy* [The main types of igneous formations]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 385 p. (In Russ.).
3. Malakhov I.A. *Petrokhimiya glavnykh formatsionnykh tipov ul'trabazitov* [Petrochemistry of the main formation types of ultrabasites]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 223 p. (In Russ.).
4. Dolgushin S.S., Zhabin V.V., Loskutov I. Yu., Sadur O.G. *Perspektivy sozdaniya bazy khromovogo syr'ya Sibiri (v predelakh Sibirskogo federal'nogo okruga)* [Prospects for creating a base of chrome raw materials of Siberia (within the Siberian Federal District)]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2019. 239 p. (In Russ.).
5. Sadur O.G. [Modeling of geological environments based on the calculation of their density and magnetization in class of complex mass distribution for various geological problems]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2012, no. 1 (9), pp. 96–101. (In Russ.).
6. Khomichev V.L. *Petrologicheskaya osnova granitoidnykh rudno-magmaticheskikh sistem* [Petrological basis of granitoid ore-magmatic systems]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2016. 287 p. (In Russ.).
7. Khomichev V.L. *Plutony – dayki – orudnenie* [Plutons – dykes – mineralization]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2010. 243 p. (In Russ.).
8. Khomichev V.L. *Problema validnosti magmaticheskikh kompleksov* [The problem of the validity of igneous complexes]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2002. 80 p. (In Russ.).
9. Khomichev V.L., Kuzhelnaya E.V., Khomicheva E.S. *Kaakhemskiy massiv – etalon tannuol'skogo kompleksa (Tsentral'naya Tuva)* [Kaakhem massif – the standard of the Tannuolsky Complex (Central Tuva)]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1992. 130 p. (In Russ.).

© В. Л. Хомичев, 2019



УДК 622.324.7:622.692(571.5)

ЭФФЕКТИВНОЕ ХРАНЕНИЕ – КЛЮЧ К ОСВОЕНИЮ ГЕЛИЕВОГО РЕСУРСА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

А. И. Сивцев, А. Р. Александров, Д. М. Петров

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Рассмотрена проблема эффективного освоения гелиевых ресурсов восточносибирских месторождений нефти и газа в средне- и долгосрочной перспективе. На примере Чаюдинского нефтегазоконденсатного месторождения сделана прогнозная оценка невостребованного рынком количества гелия до 2030 г. Для эффективного управления гелиевыми ресурсами разрабатываемых месторождений и извлечения максимальной прибыли рекомендована организация централизованного хранилища гелия. Отмечено, что классическое хранилище в пористых пластах небольшого по запасам газового месторождения представляется наименее затратным и более надежным. Замечено, что вдоль газопровода «Сила Сибири» наиболее приемлемое расположение между основными гелийсодержащими месторождениями юго-западной Якутии и Амурским газоперерабатывающим заводом имеет подготовленная к глубокому бурению Нижнеджербинская структура. Главной выгодной ее особенностью является морфология: структура представляет собой вытянутую в северо-восточном направлении узкую высокоамплитудную брахиантиклиналь (до 2,8–5,6 км в поперечнике), осложненную тремя куполами. Показана принципиальная возможность разведки и выработки залежи Нижнеджербинской структуры с применением горизонтального бурения, что полностью исключит риски утечки высокоподвижного гелиевого концентрата при организации подземного хранилища. По общегеологическим предпосылкам здесь перспективны рифейский, терригенный вендский и карбонатный верхневендско-нижнекембрийский комплексы отложений. Обосновано, что по небольшой глубине залегания и высокой вероятности наличия эффективного флюидоупора (соленосные отложения юрегинской свиты) для организации пластового хранилища гелия более всего подходит интервал отложений, сопоставляемый с осинским продуктивным горизонтом.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, ресурсы гелия, газопровод «Сила Сибири», подземное хранение, Нижнеджербинская структура, осинский горизонт, горизонтальное бурение.

EFFECTIVE STORAGE AS A KEY TO HELIUM RESOURCE DEVELOPMENT OF EAST SIBERIA

A. I. Sivtsev, A. R. Aleksandrov, D. M. Petrov

Institute of Oil and Gas Problems of the SB RAS, Yakutsk, Russia

The article deals with the problem of efficient development of helium resources of East Siberian oil and gas fields in the medium- and long-term prospects. A prediction estimate of helium volumes unclaimed by the market until 2030 was made using the Chayandinskoye oil and gas condensate field as an example. To effectively manage the helium resources of the developed fields and maximize profits, it is recommended to organize a centralized helium storage facility. It is noted that the classic storage in porous reservoirs of a gas field small in reserves is the least expensive and reliable. The area between the last helium-containing field and the Amur gas processing plant along the Power of Siberia gas pipeline is indicated as the most acceptable location for the helium storage facility. From the standpoint of the closest location to the Power of Siberia gas pipeline, the Nizhnedzherbinskaya structure prepared for deep drilling is proposed for the organization of an underground storage facility for helium concentrate. In this case the main advantageous feature of the Nizhnedzherbinskaya structure is its morphology, which is a narrow, high-amplitude brachyanticline extended to the north-east direction (up to 2.8–5.6 km in diameter) and complicated by three domes. The peculiar morphology may allow exploring and developing the Nizhnedzherbinskaya structure without drilling in the apical part, through the use of horizontal drilling to completely eliminate the risk of leakage of highly mobile helium concentrate. Here, Riphean, terrigenous Vendian and carbonate Upper Vendian – Lower Cambrian deposits are promising according to general geological prerequisites. According to the optimal depth of occurrence and the presence of an effective fluid seal (salt-bearing deposits), the Osa productive horizon is the most suitable for organizing an underground reservoir of helium concentrate in the Bilirskaya section, in a number of giant fields in Western Yakutia (such as the Talakanskoye and Srednebotuobinskoye ones).

Keywords: East Siberia, helium resources, Power of Siberia gas pipeline, underground storage, Nizhnedzherbinskaya structure, Osa Horizon, horizontal drilling.

DOI 10.20403/2078–0575–2019–3–106–109

В газовой составляющей углеводородных месторождений Восточной Сибири содержится повышенное количество гелия. Исходя из анализа рынка гелия и имеющейся сырьевой базы в средне- и долгосрочной перспективе возникнет и будет только увеличиваться устойчивый спрос на этот газ [1].

Вместе с тем при плановых объемах добычи природного газа в Восточной Сибири количество высвобождаемого гелия представляется несоизмеримо большим даже по сравнению с нарастающим прогнозным уровнем его потребления. В этих условиях решение проблемы управления невостребованным объемом гелия весьма актуально.

Постановка проблемы

По оценкам «Газпром ВНИИГАЗ», к 2030 году мировое потребление гелия может достичь 238–312 млн м³, а производство будет составлять лишь 213–238 млн м³ [2], т. е. в мире возникнет устойчивый его дефицит.

По договору от 2014 г. между компаниями «Газпром» и «СНПС», ежегодно по газопроводу «Сила Сибири» из Якутского (Чаяндинское месторождение) и Иркутского (Ковыктинское месторождение) центров газодобычи будет поставляться до 38 млрд м³ газа в Китай в течение 30 лет. Кроме того, предусмотрено примерно 22 млрд м³ газа для нужд населения и промышленных предприятий Дальнего Востока.

Первым к газопроводу будет подключено Чаяндинское месторождение (Якутия), содержащее 8,1 млрд м³ балансовых запасов гелия по категориям А+В+С₁ и С₂, что составляет 30,41 % всех общероссийских запасов. Концентрация гелия в добываемом газе в среднем оценивается в 0,58 %. При годовом объеме добычи газа 25 млрд м³ (проектная мощность разработки месторождения, на которую ПАО «Газпром» планирует выйти к 2025 г.) объем попутного гелия составит до 145 млн м³ в год (рис. 1).

Это не окончательные данные, так как при полном или частичном подключении других крупных месторождений Восточной Сибири указанный объем может вырасти до 30%. Выход на мировой рынок такого количества гелия непосредственно повлияет на цены и может привести к негативным конъюнктурным изменениям. В связи с этим для обеспечения стабильности рынка возникает необходимость организации системы долгосрочного хранения гелия [3, 4].

Данную проблему ПАО «Газпром» планирует решать путем обратной закачки гелия в пласты разрабатываемого месторождения. С помощью двухступенчатой мембранной установки гелиевый концентрат будет выделяться из природного газа непосредственно на промысле, что позволит направлять в газопровод только востребованное количество

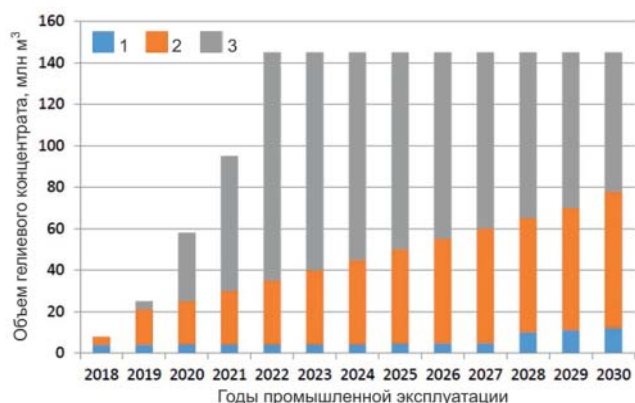


Рис. 1. Прогнозная динамика распределения гелия, извлеченного из природного газа Чаяндинского месторождения [6].

Объемы: 1 – внутреннего потребления; 2 – поставок на экспорт; 3 – невостребованные рынком

гелия. Предлагаемое решение имеет риски, связанные с негерметичностью скважин и необходимостью установки мембранных установок на каждом разрабатываемом месторождении. Поэтому предлагаемый вариант кажется нам временным и точечным.

Для концентрации всего объема гелия месторождений Восточной Сибири и возможности оперативного управления объемами его производства, а также для организации надежной системы транспортировки и сохранения концентрата необходимо на государственном уровне организовать централизованное хранилище. Это вполне реально в условиях Восточной Сибири [5].

Экспериментальная часть

Традиционно газохранилища обустривают либо в выработанных газовых залежах (пористых пластах) нефтегазоконденсатных месторождений, либо в соляных кавернах [6].

Второй вариант в характеризуемом регионе можно сразу исключить ввиду отсутствия мощных соляных пластов, поскольку подходящие по толщине (до 2000 м) соляные пласты среднепалеозойского возраста сосредоточены в Кемпендяйской впадине, а она логистически не вписывается в систему газопровода «Сила Сибири». Кроме того, реализация такого варианта будет отличаться высокой капиталоемкостью, большими времязатратами при обустройстве и ненадежностью соляных каверн при длительном хранении.

Таким образом, классическое хранилище в пористых пластах наименее затратно и куда более надежно. Преобладающее большинство газохранилищ размещено именно в пористых пластах (в США 94 %, в России 99 %) и только 3 % в соляных [6]. В связи с этим возможными объектами для создания хранилища гелиевого концентрата могут быть некоторые небольшие по запасам газовые месторождения.

При этом целесообразно располагать мембранную установку для извлечения и сохранения максимального количества гелиевого сырья между последней «врезкой» гелийсодержащего месторождения в газопровод и Амурским газоперерабатывающим заводом. В указанном интервале близко к газопроводу расположены Хотого-Мурбайское, Отраднинское и Бысахтахское месторождения в Предпатомском региональном прогибе. Многие исследователи отмечают высокую вероятность открытия здесь новых месторождений нефти и газа [7–9].

При организации газохранилищ необходимо снижать количество разведочных и эксплуатационных скважин до минимально возможного. Несмотря на развитие применяемых технологий и оборудования, обеспечивающих необходимую герметичность, распространенной проблемой подземных хранилищ газа является его миграция по негерметичным участкам цементного камня. На Хотого-Мурбайском, Отраднинском и Бысахтахском месторождениях скважины пробурены на сводовых частях структур

содержащих залежи газа, потому не исключены риски заколонной утечки гелия.

Исходя из приведенных критериев оптимально расположена подготовленная к бурению Нижнеджербинская структура на одноименного лицензионном участке, принадлежащем ПАО «НК «Роснефть» (рис. 2).

Нижнеджербинский участок расположен в зоне сочленения Джеюктинского выступа и Ньюско-Джербинской впадины (Предпатомский региональный прогиб). В разрезе осадочного чехла выделяются рифейский, терригенный вендский и карбонатный верхневендско-нижнекембрийский перспективные комплексы. Геолого-геофизическая изученность позволяет определять Нижнеджербинскую структуру как вытянутую в северо-восточном направлении узкую брахиантиклиналь, осложненную тремя куполами. По структурному положению и строению она сходна с Бысахтахской, где открыты промышленные залежи углеводородов в отложениях венда и венда – нижнего кембрия.

Глубокого бурения на участке не проводилось, ресурсы и запасы углеводородов на госбалансе не числятся. Учитывая преимущественный характер насыщения продуктивных горизонтов в близлежащих Бысахтахском, Вилюйско-Джербинском, Верхневилючанском и Отрадинском месторождениях, на Нижнеджербинском участке специалисты прогнозируют открытие газоконденсатных залежей.

В Западной Якутии в разрезе билирской свиты на Талаканском и Среднеботуобинском месторождениях выделяется осинский продуктивный горизонт. Он представлен кавернозно-пористыми доломитами и известняками, залегающими в кровле подсолевого комплекса под мощной толщей каменных солей юргинской свиты нижнего кембрия. По сейсморазведочным данным этот горизонт в пределах Нижнеджербинской структуры замыкается по изогипсе -1750 м и имеет ширину 2800–5600 м и длину до 35000 м. Ожидаемая толщина осинского горизонта 10–12 м.

В наиболее приподнятых частях осинский горизонт залегает на абсолютной глубине -1250 м. На близлежащих площадях его продуктивность установлена на Кэдэргинской площади, где в скв. 432 получен промышленный приток газа дебитом 76 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ на диафрагме 9 мм [10].

Кроме того, перспективы нефтегазоносности связываются с карбонатными отложениями юрхской, кудулахской, успунской (преображенской) свит и терригенными отложениями бысахтахского горизонта. В целом структурные планы этих стратиграфических подразделений совпадают, но залегают они глубже осинского горизонта, что, разумеется, отразится на объеме капиталовложений при обустройстве подземного хранилища.

Дополнительным преимуществом Нижнеджербинской структуры является также ее морфология. На наш взгляд, идеальным резервуаром для хранения гелия могут быть высокоамплитудные вытяну-

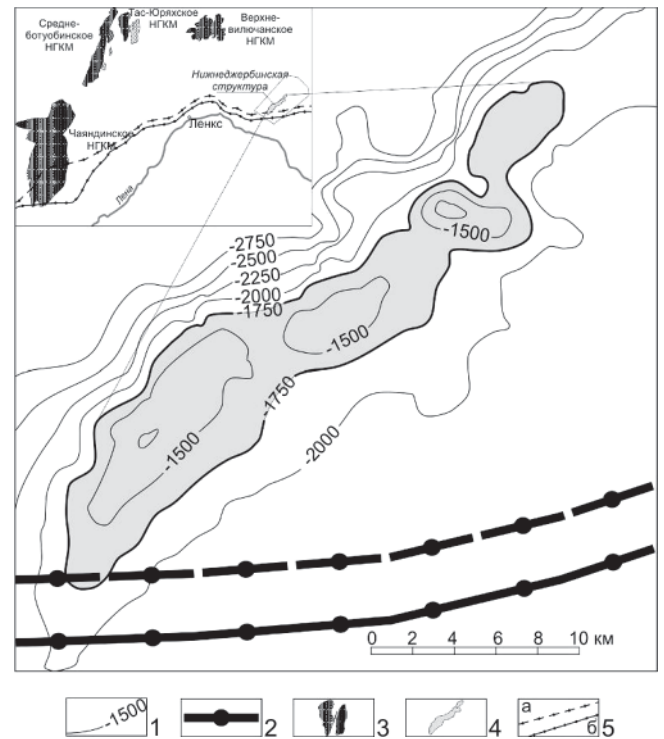


Рис. 2. Нижнеджербинская структура (по материалам АО «Якутскгеофизика»)

1 – изогипсы по кровле верхнебилирской подсвиты, абс. глубины, м; 2 – проектная трасса газопровода «Сила Сибири»; 3 – наиболее крупные нефтегазоконденсатные месторождения Западной Якутии; 4 – Нижнеджербинская структура; 5 – трассы трубопроводов «Сила Сибири» (а) и ВСТО (б)

тые узкие структуры – месторождения газа, не разбуренные в апикальной части структуры. Вытянутые и узкие резервуары-месторождения технологически можно разведать и выработать даже без бурения в апикальной части структуры за счет применения горизонтального бурения. В этом плане предлагаемая структура при условии открытия мелкой залежи газа представляется оптимальной для хранения гелиевого концентрата. Выявленную газовую залежь можно ускоренно выработать и затем обустроить пластовое хранилище гелиевого концентрата.

Выводы

За время разработки месторождений Восточной Сибири может быть получено огромное количество гелиевого концентрата. Для минимизации потерь и эффективного управления стратегическим сырьем необходимо разрабатывать технологии и способы его длительного хранения. Наиболее эффективно и менее капиталоемко создание хранилища в пористых пластах выработанных залежей, для этих целей можно ускоренными темпами провести добычу всего газа на небольшом месторождении в коридоре газопровода «Сила Сибири», чтобы освободить поровое пространство для концентрата.

Среди подготовленных к бурению структур в Западной Якутии по местоположению и геологическому строению оптимальна Нижнеджербинская струк-



тура. Недропользователю можно порекомендовать проводить поисково-оценочные и разведочные работы и возможное освоение без бурения в апикальной части структуры для сохранения целостности сводовой части, чтобы впоследствии на ее основе организовать высокоэффективное подземное пластовое хранилище гелиевого концентрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вотьяков Р. В.** Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Березовской впадины (восточная часть Предпатомской нефтегазоносной области) // Геология нефти и газа. – 2013. – № 2. – С. 15–21.
2. **Геология** и нефтегазовый потенциал юго-западных территорий Республики Саха (Якутия): реалии, перспективы, прогнозы / И. А. Кушмар, В. С. Ситников, Т. К. Баженова и др. – СПб.: ВНИГРИ, 2014. – 436 с.
3. **Звуйковский Н. И.** Рынок гелия в России // Oil Gas Journal Russia. – 2017. – № 03 (113). – С. 26–29.
4. **Комплексная** характеристика и количественная оценка перспектив нефтегазоносности региональных резервуаров нефти и газа верхневендско-нижнекембрийского аллохтонного карбонатного макрокомплекса Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) / Г. Г. Шемин, А. В. Мигурский, М. Ю. Смирнов и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 1. – С. 32–55.
5. **Конторович А. Э., Коржубаев А. Г., Эдер Л. В.** Мировой рынок гелия // Аналитический портал химической промышленности. – Режим доступа: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=6308_cat_id=10_page_id=4.
6. **Коршак А. А., Шаммазов А. М.** Основы нефтегазового дела: учебник для вузов, 3-е изд. испр. и доп. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2005. – 528 с.
7. **Ларионов А. В.** Организационно-экономические механизмы рационального освоения гелиевого ресурса Республики Саха (Якутия): автореф. дис. ... к. э. н. – Якутск, 2018. – 21 с.
8. **Ларионов А. В., Павлов Н. В.** Перспективы эффективного использования и сохранения ресурсов гелия в Восточной Сибири // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2017. – Т. 13, вып. 6. – С. 157–167.
9. **Сафронов А. Ф.** О создании федерального запаса гелия на базе Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения // Вестн. ЦКР Роснедра. – 2012. – № 2. – С. 24–26.
10. **Сивцев А. И., Ситников В. С.** О проявлениях горизонтальных тектонических движений в низах осадочного чехла Березовской впадины в связи с нефтегазоносностью // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 3. – С. 24–31.

REFERENCES

1. Votyakov R.V. [Geological structure and oil and gas potential of the Berезovskaya depression (eastern part of the Predpatom petroleum region)]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2013, no. 2, pp. 15–21. (In Russ.).
2. Kushmar I.A., Sitnikov V.S., Bazhenova T.K., et al. *Geologiya i neftegazovyy potentsial yugo-zapadnykh territoriy Respubliki Sakha (Yakutiya): realii, perspektivy, prognozy* [Geology and oil and gas potential of the southwestern territories of the Republic of Sakha (Yakutia): realities, prospects, forecasts]. Saint Petersburg, VNIGRI Publ., 2014. 436 p. (In Russ.).
3. Zvuykovskiy N.I. [Helium market in Russia]. *Oil Gas Journal Russia*, 2017, no. 3 (113), pp. 26–29.
4. Shemin G.G., Migurskiy A.V., Smirnov M. Yu., et al [Comprehensive characteristics and quantitative assessment of prospects of oil-and-gas content of regional oil and gas reservoirs of the Upper Vendian – Lower Cambrian allochthonous carbon-bearing macrocomplex of the Predpatom regional trough (Siberian Platform)]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2018, no. 1, pp. 32–55. (In Russ.).
5. Kontorovich A.E., Kozhubaev A.G., Eder L.V. [World helium market]. *Analiticheskiy portal khimicheskoy promyshlennosti* [Analytical portal of the chemical industry]. Available at: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=6308_cat_id=10_page_id=4. (In Russ.).
6. Korshak A.A., Shammazov A.M. *Osnovy neftegazovogo dela: uchebnik dlya vuzov 3-e izd. ispr. i dop* [The basics of oil and gas business: a textbook for high schools, 3rd ed. corrected and add.]. Ufa, DizainPoligraf-Servis Publ., 2005. 528 p. (In Russ.).
7. Larionov A.V. *Organizatsionno-ekonomicheskie mekhanizmy ratsional'nogo osvoeniya geliyevogo resursa Respubliki Sakha (Yakutiya). Avtoref. diss. k. e. n* [Organizational and economic mechanisms for the rational development of the helium resource of the Republic of Sakha (Yakutia). Author's abstract of PhD thesis]. Yakutsk, 2018. 21 p. (In Russ.).
8. Larionov A.V., Pavlov N.V. [Prospects for the effective use and conservation of helium resources in East Siberia]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2017, vol. 13, no. 6, pp. 157–167. (In Russ.).
9. Safronov A.F. O [On formation of federal stock of helium on the basis of Chajandinsky oil-gas-condensate field]. *Vestnik TsKR Rosnedra*, 2012, no. 2, pp. 24–26. (In Russ.).
10. Sivtsev A.I., Sitnikov V.S. [Some aspects of manifestations of horizontal tectonic movements in the bottoms of the sedimentary cover of Berезovskaya depression due to oil and gas occurrence]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2014, no. 3, pp. 24–31. (In Russ.).

© А.И. Сивцев, А.Р. Александров, Д.М. Петров, 2019



УДК (553.411.068.5+553.87.068.5)(571.56–17)

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ЗАПАСОВ РОССЫПНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КУЛАРСКОГО ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

В. Ф. Крашенинин

АО «Куларзолото», прииск «Центральный», Омск, Россия

Рассмотрены основные критерии регионального прогноза значимых запасов россыпного минерального сырья Куларского горно-промышленного района (золота, куларита, кварца и др.). Определена связь областей промышленного накопления указанных минералов с приконтактной (продуктивной) зоной денудационного среза пермских и триасовых отложений Восточно-Верхоянской складчатой зоны, а золото-кварцевых россыпей – со свитой даек лампрофиров и конгломератами всех стратиграфических уровней. Подсчитанные ресурсы золото-редкоземельно-кварцевого сырья вместе с ожидаемой алмазносностью территории, делают изучаемый район первоочередным промышленным объектом для возрождения былого экономического потенциала Булунского и Усть-Янского улусов Заполярной Якутии, но уже в качестве источника комплексного полиминерального алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-кварцевого сырья.

Ключевые слова: прогноз, Северная Якутия, Куларский горно-промышленный район, поисковые признаки, россыпи, лампроиты, алмазы, конгломераты, ресурсы, золото, куларит, кварц.

REGIONAL FORECAST OF PLACER MINERAL RESERVES OF THE KULAR MINING-INDUSTRIAL DISTRICT

V. F. Krashenin

Kularzoloto, Zentralny Mine, Omsk, Russia

The article discusses the main criteria for the regional forecast of significant reserves of placer raw materials of the Kular mining-industrial region (MIR): gold, kularite, quartz. The connection of the industrial accumulation areas of these minerals with the near-contact (productive) zone of a denudation section of the Permian and Triassic deposits of the Eastern-Verkhoyansk folded zone, and that of gold-quartz placers with a dike swarm of lamprophyres and conglomerates of all stratigraphic levels are characterized. The estimated resources of gold-rare-earth-quartz raw materials, along with the actually expected diamond-bearing territory, put forward the Kular MIR as a primary industrial facility for the revival of the former economic potential of the Bulunsky and Ust-Yansky Uluses of Polar Yakutia, but already as a source of integrated polymineral diamond-gold-rare earth-quartz raw materials.

Keywords: forecast, Northern Yakutia, Kular mining-industrial region, indicators, placers, lamproites, diamonds, conglomerates, resources, gold, kularite, quartz.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-110-116

Обязательно исходя из прошлого, держась за настоящее, мы живем будущим.

В. Пикуль. «Пером и шпагой»

По моему мнению, в России, заканчивается не россыпное золото, а время старых технологий, позволяющих вести добычу, не считаясь с затратами. Нужно быть реалистами – ЭТО ВРЕМЯ УЖЕ ПРОШЛО.

Б. Кавчик, В. Пятаков, ОАО «Иргиредмет»

История вопроса

Куларский ГПР в административном отношении принадлежит к восточной части Булунского и к западной части Усть-Янского районов (улусов) [7, с. 110] и включает следующие россыпные узлы (см. таблицу): Улахан-Сисский (I), Арга-Юрях-Омол-Солурский (II), Ойуун-Юрэгэ-Суордахский (III) и Джанкы-Куйга-Кюндюлюнгский (IV), расположенные в пределах краевых структур Омолдойского и Куларского сегментов Восточно-Верхоянской складчатой зоны [6, с. 12] – в непосредственной близости от восточной окраины Сибирской платформы [5, с. 8].

Редкоземельно-золото-кварцевые узлы I–III входят в междуречье приустьевых частей Яны (левого бережья) и Омолоя. Коренной плотик россыпей здесь сложен палеозойско-мезозойскими отложениями, относящимися к Куларскому стратиграфическому району Полоусненского субрегиона [6, с. 12]. Золото-кварцевый узел IV дренируется правыми притоками р. Яна, россыпи которых подстилаются только мезозоидами, принадлежащими уже к Эрчинскому стратиграфическому району Святоносского субрегиона [6, с. 12].

После применения геолого-проспекторской сравнительной методики «ищи руду около руды» [9,



с. 112], генетического анализа строения россыпей [3] и предварительного этапа корреляционного анализа связей основных геологических факторов изученных узлов I–VI с прогнозируемыми россыпными объектами оценен результативный показатель последних в виде прогнозных ресурсов (категорий P_1 – P_3) золота, куларита, кварца и др. в одно- и многопластовых, в том числе погребенных, россыпях.

Россыпное минеральное сырье Куларского ГПР

Золото

Движение запасов россыпного золота приведено в таблице. Из россыпей I–IV на приисках и в артелях «Куларзолото» в 1963–1995 гг. (до его принудительного банкротства) добыто свыше 155 т золота, примерно 2 т – до 2001 г. включительно. При технологических потерях 28 % тонкого и мелкого золота в хвостах промывки промприборов получено 218 т. На балансе Республики Саха (Якутия) на 01.01.1998 оставалось почти 17,0 т россыпного золота категорий А+В+С₁ для подземной и открытой добычи при среднем содержании 1,73 г/м³. Прогнозные ресурсы категории P_1 техногенных (в понимании ГКЗ [4, с. 14] месторождений составят до 61 т россыпного мелкого и тонкого золота при среднем содержании 0,25 г/м³. Следует отметить, что эксплуатационные запасы золота, представляющие промышленный интерес на современном этапе при 40%-ных потерях в процессе промывки техногенных песков, не будут превышать 24 т.

Всего разведанных запасов и ресурсов россыпного золота по категориям А+В+С₁+С₂+ P_1 в рассматриваемых узлах Куларского золотоносного района: добыто 157 т, осталось 17 т, технологические потери на 01.01.2018 составили 61 т (см. таблицу).

Кварцевое сырье

Среднее содержание золота на разведанных площадях Куларского ГПР 2,72 г/м³. Для извлечения 218 т золота в 1963–2001 гг. промыто почти 80,0 млн м³ породы («песков») продуктивного пласта инстративного и субстративного аллювия – основной зоны аккумуляции россыпей золота, куларита, кварца и пр. В составе обломочной массы аллювия содержалось в среднем не менее 20 % (около 16,0 млн м³) гальки, валунов, обломков в основном белого кварца неравномерной степени окатанности и сортированности, в том числе горного хрусталя и его аналога – химически чистого жильного гранулированного кварца [9, с. 111]. Высокое качество силикатного сырья обусловлено природным обогащением кристаллов под действием временных водных потоков, что установлено при разработке аналогичных россыпей на Южном Урале [13, с. 4].

Почти 70 % (11,21 млн м³) ресурсов категории P_2 – гальки и обломки кварца размером до 10 см при промывке песков – складировано в отвалах стальной гали шлюзовых гидравлических промприборов. В настоящее время промышленный интерес

представляют техногенные месторождения [4, с. 14] с сохранившимися отвалами вашгердной гали, в составе которой содержится до 30 %, или 4,79 млн м³ (ресурсы категории P_1) валунов и глыб жильного высококачественного кварца размером до 0,5 м.

Как уже указывалось, на балансе Республики Саха (Якутия) осталось примерно 17,0 т запасов россыпного золота при среднем его содержании 1,73 г/м³. Это позволяет увеличить прогнозную оценку кварцевого сырья категории P_2 еще на 1,37 млн м³ (суммарно 12,58 млн м³), категории P_1 – на 0,59 млн м³ (суммарно 5,38 млн м³).

Куларит

В недрах I–III узлов содержится 293,54 тыс. т куларита (см. таблицу) – аутигенной разновидности монацита с промышленными содержаниями 16 редкоземельных и редкометалльных элементов (неодима, самария, европия, иттрия, иттербия и др.).

«Считается, что источником куларита являются углеродисто-метатерригенные (черносланцевые) породы карбона и перми... размыв которых в кайнозойе привел к накоплению куларита в палеогеновых, неогеновых и четвертичных толщах» [12, с. 437]. Эти толщи – зоны привноса и транзита россыпных минералов.

Накопление повышенных концентраций куларита можно объяснить позднепермской трансгрессией моря, обусловленной отступлением бровки материкового склона на юго-запад – в сторону платформы с погружением ложа прогиба, продолжавшегося до середины раннеоленекского времени, где «в условиях застойных котловин за счет реакций сульфатредукции образовалась аутигенная вкрапленность пирита и железистого карбоната» [6, с. 42], а также куларита *in situ*. Это связано с активной деятельностью сульфатовосстанавливающих бактерий в восстановительной среде пермских отложений тарбаганнахской (P_1tr_1) и туогучанской свит (P_1tg_1) [6, с. 12–17] с «повышенной углеродистостью» (выделено мною. – В. К.) [6, с. 2]. Причем куларит отмечается в россыпных месторождениях золота в долинах водотоков, дренирующих приконтактовую зону пермских и триасовых отложений [6, с. 57]. Данная зона коррелируется с контрастными:

- шлиховыми ореолами редкоземельного монацита, золота и, возможно, даже алмазов [11, с. 4];
- вторичными геохимическими ореолами лантана, иттрия, иттербия, церия на западном фланге Улахан-Сисского параавтохтона, лантана и церия – на восточном [6, с. 55].

Важно помнить, что многие фосфаты возникают за счет первичных сульфидов и являются хорошими индикаторами сульфидных месторождений в зоне окисления [10, с. 439].

Установленные геологами ГУ ГПР «Янгеология» указанные стратиграфические и литолого-фациальные косвенные поисковые признаки наряду с прямыми минерагеническими легли в основу подсчета



Региональный прогноз запасов (ресурсов) россыпного минерального сырья Куларского ГПР

Параметры	Россыпной узел				
	I	II	III	IV	Всего
Площадь, км ²					
общая	5900	3200	3325	5820	18245
разведанная	4100	1940	2000	2670	10710
прогнозная	1800	1260	1325	3150	7535
Запасы Au по кат. A+B+C ₁ +C ₂ , т					
разведано	171	38	19	6,8	234,8
добыто	121	21	11	4	157
Технологические потери Au на 01.01.2018, ресурсы P ₁					
т	42	12	5	1,8	60,8
%	25,7	36,3	31,2	31,0	27,9
Осталось в недрах Au (т) на 01.01.1998					
запасов категорий A+B+C ₁	8	5	3	1	17
ресурсов P ₃	75,06	24,7	12,58	7,875	120,21
K _з , т/км ²	0,0417	0,0196	0,0095	0,0025	0,0219
Запасы куларита, тыс. т по категориям					
C ₂	–	7,778	–	–	7,78
P ₁	0,21	74,23	–	–	74,44
P ₂	19,65	–	–	–	19,65
P ₃	53,36	61,04	77,27	–	191,67
Всего	73,22	143,05	77,27	–	293,54
K _р , т/км ²	12,411	42,271	42,271	–	16,088
Ресурсы кварцевого сырья по категориям, млн м ³					
P ₁	3,66	0,95	0,52	0,25	5,38
P ₂	8,55	2,22	1,21	0,6	12,58
P ₃	5,36	2,06	1,14	0,98	9,54
Всего	17,57	5,23	2,87	1,83	27,5

Примечания. K_з (коэффициент продуктивности (золотоносности) россыпного узла) – отношение разведанного количества россыпного золота к разведанной площади узла. K_р (коэффициент редкоземельности) – отношение прогнозируемого количества куларита к продуктивной площади.

ресурсов золота, куларита и кварцевого сырья россыпных узлов Куларского ГПР. Кроме того, достаточно четко выраженные региональные поисковые признаки алмазности западного и восточного крыльев Улахан-Сисского антиклинория делают территорию бывшего Куларского ГОКа весьма перспективной для возрождения его бывшего экономического потенциала, но уже в качестве объекта комплексного полиминерального алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-кварцевого сырья.

Характеристика россыпных узлов

1. Улахан-Сисский редкоземельно-золото-кварцевый узел

Общая его площадь около 5900 км², в том числе разведанная часть 4100 км² (центральная 1600 км², южная 2500 км²) и прогнозная (северная) 1800 км².

При разведанных запасах 171 т и среднем содержании 2,8 г/м³ коэффициент золотоносности K_з разведанных площадей узла 0,0417 т/км² (см. таблицу). Объем попутной добычи кварцевого сырья должен составить 12,21 млн м³, в том числе ресурсы

категории P₂ 8,55 млн м³ (кварц стачерной гали) и P₁ (кварц вашгердной гали) 3,66 млн м³.

Центральная часть (I-B) составляет территорию листа Госгеолкарты м-ба 1:200 000 R-53-IX, X, ограниченную координатами 70°40'–71°00' с. ш. и 134–135° в. д. [6, с. 3]. Включает золото-кварц-куларитовые россыпи (с севера на юг): Будыка, Кыра-Онкучах, Улахан-Онкучах, Энтузиастов, Улахан-Батор-Юрех, Светка, Коллективный, Кюсентей-Салаата, Маркой-Юрэгэ, Кюсентей (Двойной), Изкийэс (Ясный), Улахан-Юрюе (Шутник), Конечный, Маманья (им. Старкова) и др. По данным «Янгеологии», из 25 разведанных россыпей только три исследованы на наличие редкоземельного монацита. Они приурочены к долинам ручьев, дренирующих приконтактовую зону денудационного среза [2] пермских и триасовых отложений. Продуктивная площадь 17 км² [6, с. 70]. Зафиксированы содержания куларита до 123 г/м³ с суммарными прогнозными ресурсами по категории P₁ 211 т [6, с. 70], а в остальных 22 россыпях ресурсы категории P₂ составят не менее 19647 т. Это попутное сырье при золотобыче складировано в хвостохранилищах отработанных россыпей.

Коэффициент редкоземельности K_p разведанной площади 12,411 т/км².

Северный фланг (I-A) ограничен координатами 71°–71°20' с. ш. и 134–135° в. д. (лист R-53-IX, X [6, с. 25]). Прогнозная площадь 1800 км².

Кайнозойские отложения мощностью до 438 м [7, с. 25], дренируются на дневной поверхности современными водотоками (Куранах, Дергях, Буор-Юрях, Кусаган-Улах и др.). Древние россыпи (зоны аккумуляции золота, кварца, куларита и, вероятно, алмазов), скорее всего, выполняют днища погребенных речных долин [6, с. 25] древней гидросети, полностью перекрытой мощной толщей рыхлых отложений. Продуктивные аллювиальные отложения образовались в палеогеновое время за счет перемыва пород площадной коры выветривания мощностью 1–10 м, и линейной коры с установленной мощностью около 40 м. В них преобладает ильменит-куларитовая ассоциация [6, с. 26] (зоны привноса и транзита). На перспективность рассматриваемых погребенных золотоносных россыпей (возможно, с алмазами) Приморской низменности указывали еще в 1982 г. географы и геологи МГУ. Они установили, что водотоки, сформировавшие указанные россыпи, имели сток в северных и северо-восточных румбах, хотя в них отмечаются участки или притоки северо-западного направления. Такая особенность россыпесодержащих водотоков определяется тем, что они располагаются в зоне Приморского разлома. Продуктивные пласты в палеодолинах рассматриваемых водотоков располагаются только в нижнем галечном горизонте омолойской свиты палеогена. В ее составе содержится около 20 % обломков преимущественно белой окраски, размером от 2–3 см до 0,5 м [7]. Транзитная субмеридиональная долина Пра-Кюэгюлюра, сформировавшаяся в начале позднего эоцена [6, с. 44], подтверждает указанное простираение прогнозируемой россыпной (погребенной) зоны.

При K_3 0,0417 т/км² и K_p 12,411 т/км² ресурсы категории P_3 прогнозной северной площади узла следующие: золота 75,06 т, куларита 22339 т и кварца (попутной добычи) 5,36 млн м³.

Южный фланг (I-B) протягивается от 70°40' до 70°05' с. ш. Площадь 2500 км². Включает золото-куларит-кварцевые россыпи Куччугуй-Кюегюлююр, Бургуаат (Верхний, Средний, Нижний, Терраса, Эмиссь, Нээтик, Керчиик), Эттинээх, Суор-Уйалаах (Кристалл, Аленка), Кюегюлююр-Юрэгэ, Кель-Сэннээх, Золотистая и др. По заключению «Янгеологии», наиболее перспективны в отношении россыпной металлоносности редкоземельных элементов южные части Куларской зоны, прежде всего Солурский узел [6, с. 67]. Ресурсы куларита по категории P_3 составят здесь не менее 31027 т.

Итак, промышленное развитие Улахан-Сисского узла на современном этапе возможно при наличии следующих видов минерального сырья для комплексной разработки:

– запасы россыпного золота 8 т (кат. А+В+С₁), ресурсы 75,06 т (кат. P_3);

– ресурсы куларита 73224 т (211 т по кат. P_1 , 19647 т по кат. P_2 , 53366 т по кат. P_3), в основном локализованные в продуктивной приконтактной зоне палеозойских и мезозойских отложений;

– ресурсы кварцевого сырья 17,57 млн м³ (3,66 млн м³ по кат. P_1 , 8,55 млн м³ по кат. P_2 , 5,36 млн м³ по кат. P_3).

II. Арга-Юрях-Омолой-Солурский редкоземельно-золото-кварцевый узел

Площадь узла 3200 км², в том числе изученная 1940 км². Разведаны и эксплуатировались золото-кварц-куларитовые россыпи Левая, Чистая, им. Переяслова, Урасалаах, Центральная (Верхняя, Нижняя), Солур и др. Прогнозная площадь составляет 1260 км² (западного фланга 1125 км², северного 135 км²) и включает в основном погребенные россыпи левобережья р. Омолой и бассейна ее левого (р. Арга-Юрях) и правого (р. Улахан-Кюегюлююр) притоков.

Разведанные запасы россыпного золота 38 т, среднее его содержание 2,4 г/м³, K_3 0,0196 т/км² (см. таблицу). Объем попутной добычи кварцевого сырья при таких запасах золота может достигнуть 3,17 млн м³ (2,22 млн м³ по кат. P_2 – кварц стакерной гали, 0,95 млн м³ по кат. P_1 – кварц вашгердной гали). Прогнозные ресурсы золота составляют 24,696 т по категории P_3 , что также увеличивает прогнозные ресурсы попутного кварцевого сырья категории P_3 на 2,06 млн м³.

Другой полезный компонент россыпей – куларит – также не извлекался и складировался в хвостохранилищах золотого обогащения. Опытные работы по подсчету его запасов категории C_2 на месторождении Центральном были проведены геологами Янской ГРЭ (3018 т) и ГОКа «Куларзолото» (4760 т). Суммарные запасы куларита 7778 т, в россыпях месторождения Центрального они приурочены к долинам ручьев, дренирующих также приконтактную продуктивную зону (184 км²) пермских и триасовых отложений (K_p 42,271 т/км², см. таблицу). Значит, хвостохранилища оставшихся россыпей, суммарная площадь денудационного среза которых составляет 1756 км², могут вмещать 74227 т (по кат. P_1) куларита, а оставшаяся территория (1444 км²) – 61039 т.

Для дальнейшего промышленного развития Солурского узла необходимо наличие следующих видов и объемов минерального сырья для комплексной разработки:

– запасы россыпного золота (кат. А+В+С₁) 5 т и ресурсы (кат. P_3) 24,7 т;

– запасы куларита 7778 т (кат. C_2), ресурсы 74227 т (кат. P_1) и 61039 т (кат. P_3);

– ресурсы кварцевого сырья 0,95 млн м³ (кат. P_1), 2,22 млн м³ (кат. P_2), 2,06 млн м³ (кат. P_3).

III. Ойуун-Юрэгэ-Суордахский редкоземельно-золото-кварцевый узел

В этом узле отмечены те же важнейшие геологические факторы Улахан-Сисского и Солурского уз-



лов, которые влияют на наличие значимых запасов россыпного минерального сырья (золота, куларита, кварца и др.) в одно- и многопластовых россыпях, в том числе погребенных

Площадь узла 3325 км². На изученной части (2000 км²) разведаны и эксплуатировались золото-кварц-куларитовые россыпи бассейнов рек Суордах и Кыылаах. Остальная площадь (1325 км²) юго-восточного фланга – прогнозная (бассейн р. Ойуун-Юрэгэ).

Разведанные запасы россыпного золота 19 т, его среднее содержание 2,2 г/м³, K₃ 0,0095 т/км² (см. таблицу). Объем попутной добычи кварцевого сырья может составить 1,73 млн м³: 1,21 млн м³ по категории P₂ (кварц стакерной гали) 0,52 млн м³ по категории P₁ (кварц вашгердной гали). Прогнозные ресурсы золота по категории P₃ оценены в 12,587 т, что увеличивает потенциальный объем попутного кварцевого сырья (кат. P₃) на 1,14 млн м³.

Площадь эрозионно-денудационного среза продуктивной толщи приконтактной зоны пермских пород тарбаганнахской свиты (P₁tr₁) и триасовых отложений (зоны аккумуляции куларита) 1828 км² (55 % территории всего узла). Значение коэффициента редкоземельности Солурского узла (42,271 т/км²) с большой долей вероятности можно распространить и на подсчет ресурсов куларита по категории P₃ на продуктивной площади Суордахского узла – 77271 т.

Для промышленного развития данного узла требуется наличие для комплексной разработки россыпей минерального сырья:

- запасы россыпного золота 3 т (кат. A+B+C₁) и ресурсы 12,58 т (кат. P₃);
- ресурсы куларита 77271 т (кат. P₃);
- ресурсы кварцевого сырья 0,52 млн м³ (кат. P₁), 1,21 млн м³ (кат. P₂), 1,14 млн м³ (кат. P₃).

IV. Джанкы-Куйга-Кюндюльонгский золото-кварцевый узел

Площадь 5820 км². Изучен северный фланг (2670 км²), где разведаны и эксплуатировались золото-кварцевые россыпи Омега, Кюрюкэн, Арангасчан, Водомерная, Куйга, Сэллех-Юрэгэ и др. Юго-восточный фланг – бассейн р. Джанкы и левобережье верхнего течения р. Чондон – прогнозная площадь (3150 км²)

Разведанные запасы золота 6,8 т, среднее его содержание 1,6 г/м³, K₃ разведанной площади 0,0025 т/км² (см. таблицу). Объем попутной добычи кварцевого сырья может составить 0,85 млн м³: 0,6 млн м³ (кат. P₂) – кварц стакерной гали, 0,25 млн м³ (кат. P₁) – кварц вашгердной гали.

На территории узла нет современных водотоков, дренирующих продуктивные (редкоземельные) площади контакта пермских и триасовых отложений. Здесь не отмечены литолого-стратиграфические, палеогеографические и минерагенические факторы, определяющие наличие куларита, что ста-

вит под сомнение накопление его промышленных концентраций.

Обращает на себя внимание приуроченность пород коренного плотика золото-кварцевых россыпей (Кюрюкэн, Водомерная, Куйга, Сэллех-Юрэгэ и др.) к «рою» даек лампрофиров, в северо-западном и субширотном направлении (в Лаптево-Селенняхской и Тенкиченской тектонических системах) прорывающих осадочные породы триаса и юры на всей территории рассматриваемого узла. Это позволяет сделать следующие выводы.

1. Можно связать с палеотектоникой и палеомагматизмом (тектоническим и магматическим минерагеническими факторами) золото-кварцевую (и, возможно, алмазную) россыпную минерализацию всей площади Кюндюльонгского узла и тем самым распространить K₃ его разведанной площади (0,0025 т/км²) на прогнозную юго-восточную (3150 км²). О ее потенциальной золотоносности (и, вероятно, алмазности) свидетельствуют россыпеобразующие возможности конгломератов оксфордско-кимериджского возраста [9, с. 111] и келловейских слоев, с которыми связаны многочисленные находки алмазов, а также значительные концентрации их спутников [5, с. 7] на смежных территориях; эти конгломераты являются промежуточными коллекторами неоген-четвертичных россыпей золота и, возможно, алмазов.

Можно также надеяться на выявление в подвижном поясе краевых структур Восточно-Верхоянской складчатой зоны даек лейцитовых лампрофиров, структурно и генетически связанных с гипотетическим Шелонским массивом (под мезозоидами осадочного складчатого комплекса рассматриваемого узла) и представляющих собой первый (основной) признак при поисках алмазоносных лампроитов [7, с. 45].

Прогнозные ресурсы золота юго-восточного фланга Кюндюльонгского узла составляют 7,875 т (кат. P₃), что на 0,98 млн м³ увеличивает ожидаемый объем попутного кварцевого сырья той же категории.

Для промышленного развития узла на современном этапе необходимо наличие следующих видов сырья:

- запасы россыпного золота 1 т (кат. A+B+C₁), ресурсы 7,87 т (кат. P₃);
- ресурсы кварца 0,25 млн м³ (кат. P₁), 0,60 млн м³ (кат. P₂), 0,98 млн м³ (кат. P₃).

Перспективы россыпной алмазности Куларского ГПР

В пользу потенциальной алмазности Куларского ГПР свидетельствуют следующие региональные поисковые (минерагенические) признаки:

1. Тектонические и магматические – принадлежность территории рассматриваемых узлов к подвижным краевым структурам западной части Верхояно-Колымской складчатой области, в непосредственной близости от восточной окраины



Сибирской платформы, где выявлено присутствие разнородных россыпных проявлений алмаза и его спутников [5, с. 6, 8].

2. Эпикратонный тип тектонического устройства – наличие Хромского и Шелонского массивов под мезозоидами Куларского антиклинория с его проявлениями траппового (долеритового) [6, с. 34] магматизма (магматический минерагенический фактор). «О проявлении раннетриасового базальтоидного вулканизма в областях питания свидетельствует обогащение песчаников кыллахской свиты T_1kh медью, никелем, титаном и ванадием, обладающих сильными корреляционными связями» [6, с. 43].

3. Литолого-стратиграфические и палеогеографические минерагенические факторы при определении поисковой ценности триасовых и юрских толщ Куларского ГПР. Это конгломераты всех уровней, и прежде всего волжские базальные [5, с. 7], перспективные для концентрации алмазов и их спутников, в продуктивных келловейских слоях. Все это подтверждает, что россыпи могут быть сформированы за счет размыва коренных источников (или вновь возникших) в батское время [5, с. 7].

4. Минералогический поисковый фактор (по аналогии с алмазоносными месторождениями Тимано-Уральского региона). Это зависимость концентраций куларита от алмаза в составе тяжелой фракции шлиха. Иными словами, куларит является как региональным, гидродинамическим спутником алмаза, обладающим близкой ему гидравлической крупностью, так и вторичным минералом-индикатором (минералом – спутником алмаза) [11, с. 4]. Значит, I–III редкоземельно-золото-кварцевые узлы Куларского ГПР могут считаться перспективными на алмазную минерализацию; наиболее значимым объектом для добычи комплексного полиминерального алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-кварцевого сырья является Солурский (II) узел с максимальными запасами и ресурсами куларита (см. таблицу), а перспективы IV узла необходимо увязывать с поисками алмазоносных лампроитов и конгломератов всех уровней.

Для подтверждения алмазного потенциала на первом этапе поисковых работ необходимо:

- максимально снизить влияние «профессионального кретинизма» при анализе геологических рисков для различных этапов и стадий геолого-разведочного процесса и их минимизации [1, с. 67–68];
- провести рекогносцировочные поисковые работы по оценке площадной алмазоносности путем опробования техногенных месторождений, и в первую очередь скоплений золотосодержащих шлихов методом отбора шлиховых проб весом не менее 40 кг из материала хвостов промывки мест стоянок шлихообогажительных установок, а также и из так называемых бойных ям – мест сброса воды со шлюзов стоянок гидравлических промприборов;
- помнить, что «успех алмазопоисковых программ... зависит не только от качества полевых ра-

бот, но и от эффективности работы минералогической лаборатории» [7, с. 19].

Выводы

Масштабный региональный прогноз значимых запасов (ресурсов) россыпного минерального сырья (золота, куларита, кварца и пр.), основан на результатах геолого-проспекторской сравнительной методики «ищи руду около руды», генетического анализа строения россыпей и корреляционного анализа связей основных геологических (поисковых) критериев разведанных площадей с прогнозируемыми.

Это позволяет предложить Куларский ГПР с его реально ожидаемой алмазоносностью в качестве первоочередного промышленного объекта для возрождения былого экономического потенциала Булунского и Усть-Янского улусов Заполярной Якутии, но уже в качестве источника комплексного полиминерального алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-кварцевого сырья.

Автор совершенно согласен с мнением ученых ОАО «Иргиредмет»: «По нашим расчетам, перспективы россыпной золотодобычи в России огромные. Если повысить достоверность разведки, использовать современные технологии горных работ и обогащения, тогда на россыпном золоте можно получить высокую прибыль» [8, с. 42].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин И. Ин., Антипин И. И. Состояние и основные проблемы алмазопоисковых работ на Сибирской платформе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 4. – С. 62–70.
2. Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 472 с.
3. Виноградова О. В., Хмелева Н. В. Русловые процессы и формирование аллювиальных россыпей золота. – М.: МГУ, 2009. – 171 с.
4. Воропаев В. И. Актуальные проблемы недропользования в области твердых полезных ископаемых // Недропользование XXI век. Национальная ассоциация по экспертизе недр. – 2011. – № 5. – С. 10–14.
5. Вопросы алмазоносности западной части Верхояно-Колымской складчатой области / В. А. Амузинский, А. С. Урзов, В. М. Мишнин, Р. О. Галлала // Отечественная геология. – 2000. – № 5. – С. 6–8.
6. Государственная геологическая карта России м-ба 1:200 000 (второе издание). Яно-Индибирская серия. Лист R-53-IX, X (Власово). Объяснительная записка / ред. Л. А. Мусалитин. – Батагай, 2003. – 106 с.
7. Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – С. 19, 45.
8. Кавчик Б. К., Пятаков В. Г. О повышении эффективности россыпной золотодобычи // Ми-



неральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2005. – № 3. – С. 34 – 42.

9. Крашенинин В. Ф. Геологическое и технико-экономическое обоснование кондиций месторождений полезных ископаемых Северной Якутии в части рационального использования и охраны недр // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 4. – С. 110 – 114.

10. Костов И. Минералогия: Пер. с английского. – М.: Мир, 1968. – 584 с.

11. Makeev B. A. Минеральные ассоциации и индикаторы рудоносности Пижемского титанового и Ичетьюского алмазоносного месторождений Среднего Тимана: автореф. дис... к. г.-м. н. – Сыктывкар; Казань, 2012. – 24 с.

12. Sergeenko A. I., Prokopyev A. V. Россыпная куларитоносность Хараулахского антиклинория (Северное Верхоянье) / Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России». – Якутск, 2015. – С. 435–438.

13. Serykh N. M., Frolov A. A. Из истории развития отраслевого направления работ на пьезооптическое, кварцевое и камнесамоцветное сырье // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 10. – С. 2–9.

REFERENCES

1. Antipin I. In., Antipin I.I. [State and major problems of exploration for diamonds in the Siberian Platform]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 4, pp. 62–70. (In Russ.).

2. Bilibin Yu.A. *Osnovy geologii rossypey* [Fundamentals of placer geology]. Moscow, AS USSR Publ., 1955. 472 с. (In Russ.).

3. Vinogradova O.V., Khmeleva N.V. *Ruslovye protsessy i formirovanie allyuvial'nykh rossypey zolota* [Fluvial processes and the formation of alluvial gold placers]. Moscow, University Publ., 2009. 171 p. (In Russ.).

4. Voropaev V.I. [Important issues of subsoil using in the sphere of solid minerals development]. *Nedropol'zovanie XXI vek. Natsional'naya assotsiatsiya po ekspertize nedr*, 2011, no. 5, pp. 10–14. (In Russ.).

5. Amuzinskiy V.A., Urzov A.S., Mishnin V.M., Galabala R.O. [Problems of diamond content in the west-

ern part of the Verkhoyansk-Kolyma folded region]. *Otechestvennaya geologiya*, 2000, no. 5, pp. 6–8. (In Russ.).

6. Fedyanin A.N., Solovyev M.N. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossii m-ba 1:200000 (vtoroe izdanie). Yano-Indigirskaya seriya. List R-53-IX, X (Vlasovo). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of Russia at a scale of 1: 200000 (second edition). Yana-Indigirka series. Sheet R-53-IX, X (Vlasovo). Explanatory note]. Batagai, Yangeologia Publ., 2003. 106 p. (In Russ.).

7. Jakes A., Louis J., Smith K. Kimberlites and lamproites of Western Australia. *Geol. Surv. West. Aust. Bull.*, 1986, no. 132. 268 p.

8. Kavchik B.K., Pyatakov V.G. [On improving the efficiency of placer gold mining]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie – Mineral resources of Russia. Economics and Management*, 2005, no. 3, pp. 34–42. (In Russ.).

9. Krashenin V.F. [Geological and feasibility study of the conditions of mineral deposits of Northern Yakutia in terms of the rational use and protection of mineral resources]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 4, pp. 110–114. (In Russ.).

10. Kostov I. *Mineralogy*. Edinburgh, 1968. 587 p.

11. Makeev B.A. *Mineral'nye assotsiatsii i indikator y rudoznosti Pizhemsogo titanovogo i Ichet'yuskogo almazonosnogo mestorozhdeniy Srednego Timmana. Avtoreferat diss. ... k. g.-m.n.* [Mineral associations and indicators of ore content of Pizhemy titanium and Ichetyusky diamondiferous deposits of Middle Timan. Author's abstract of PhD thesis]. Syktyvkar, Kazan, 2012. 24 p. (In Russ.).

12. Sergeenko A.I., Prokopyev A.V. [Alluvial kularite content of the Kharaulakh anticlinorium (Northern Verkhoyansk Region)]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy severo-vostoka Rossii"* [Materials of the All-Russian scientific-practical conference "Geology and mineral resources of the north-east of Russia"]. – Yakutsk, 2015, pp. 435–438. (In Russ.).

14. Serykh N. M., Frolov A.A. [From the history of the industry in the areas of work piezooptic, quartz and gemstone raw materials]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2007, no. 10, pp. 2–9.

© В.Ф. Крашенинин, 2019



К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ТАМАРЫ ИВАНОВНЫ ГУРОВОЙ

TO THE 100th ANNIVERSARY OF TAMARA GUROVA

24 апреля 2019 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Тамары Ивановны Гуровой, известного ученого-литолога, доктора геолого-минералогических наук, профессора, кавалера Ордена Ленина.

Тамара Ивановна родилась в апреле 1919 г. в Барнауле, родители были сельскими учителями. Своего отца она знала только по рассказам. Он умер, когда ей не было еще и трех лет. В 1937 г. окончила среднюю школу, в 1941 г. – Томский государственный университет. Она начала работать в Западно-Сибирском геологическом тресте, сначала литологом, потом заведующей лабораторией. Муж Тамары Ивановны, Иван Павлович, пал смертью храбрых в боях под Ржевом в августе 1942 г. В 1945 г. Тамара Ивановна перешла в Ташкентский трест «Средазнефтеразведка», а в середине декабря 1949 г. перевелась в Новосибирск на должность начальника тематической партии Новосибирской геолого-разведочной экспедиции. В 1955 г., сочетая производственную деятельность с научной, она защитила кандидатскую диссертацию.

24 августа 1956 г. началась ее работа в Сибирском НИИ геологии, геофизики и минерального сырья – сначала в должности петрографа, затем заведующей лабораторией осадочных, изверженных и метаморфических пород, заведующей лабораторией петрографии нефтегазоносных отложений, и, наконец, заведующей отделом литологии и коллекторских свойств нефтегазоносных отложений. 25 апреля 1964 г. Тамара Ивановна защитила докторскую диссертацию, а 2 июня 1969 г. ей было при-

своено ученое звание профессора. Перед уходом на пенсию 29 декабря 1989 г. Т. И. Гурову перевели на должность старшего научного сотрудника-консультанта. Без института Тамара Ивановна еще прожила полтора года и 6 июля 1991 г. ушла из жизни.

Главным направлением ее научной деятельности была литология осадочных образований мезозоя Западно-Сибирской плиты и рифейско-кембрийских отложений Сибирской платформы в связи с оценкой их нефтегазоносности. Тамарой Ивановной совместно с ее учениками-литологами получены выдающиеся результаты по исследованию вторичных преобразований карбонатных отложений Сибирской платформы, определяющих качество коллекторов. Приоритетной задачей для обоснования направлений будущих поисковых работ на нефть и газ Тамара Ивановна считала изучение и выявление закономерностей развития коллекторских свойств пород, для чего, в частности, успешно использовала методы математической статистики. Ею впервые были обобщены литологические исследования мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской плиты, внедрены в работу новые современные методы анализа вещества пород, установлены литолого-минералогические коррелятивные уровни, что было особенно важно для оценки стратиграфических горизонтов на поиски нефти и газа.

Кроме того, Тамара Ивановна занималась оценкой проявления железного оруденения в эоценовых и верхнемеловых отложениях юго-вос-

точной части Западно-Сибирской плиты. Однако геологическим проблемам, связанным с поисками нефти и газа, она все же отдавала предпочтение. Коллектив литологов под ее руководством проводил изучение минерального состава отложений, закономерностей распространения коллекторов, устойчивых и неустойчивых аксессуаров в мезозойских толщах, анализ оолитовых пород тюменской и других свит, выполнял палеогеографические реконструкции. Результаты литолого-петрографических работ, способствующие выявлению закономерностей развития пород-коллекторов, вошли в число основных параметров при построении прогнозных карт нефтегазоносных отложений осадочного чехла Западно-Сибирской плиты.

Тамару Ивановну интересовала еще одна актуальная проблема – влияние литологического состава пород на формирование неструктурных ловушек углеводородов. В результате появилась методика литологических исследований и для этой цели. Ее исследования оказались как нельзя кстати, когда потребовалась разработка научных основ нефтегазоносности Томской и Новосибирской областей.

Ею опубликовано более 100 научных работ, включая монографии. Много времени и сил она отдавала воспитанию научных кадров. Тамару Ивановну уважали и любили ученики. Под ее руководством было защищено 48 кандидатских диссертаций. Отдел, который она создала и возглавила, был полностью обеспечен высококвалифицированными сотрудниками. Это был один из лучших литологических коллективов, когда-либо существовавших в Советском Союзе. Тамара Ивановна пользовалась большим авторитетом среди научной общественности страны. Ее исследования и ныне широко востребованы в программах поисковых работ и в науч-

ных обобщениях, и, надеемся, будут в дальнейшем использоваться геологами-нефтяниками в их производственной деятельности.

Тамара Ивановна находила время и для общественной работы. Она была активным членом ученого совета института, секции этого совета по горючим полезным ископаемым, членом специализированных советов по присуждению ученых степеней при СНИИГГиМС и ИГиГ СО АН СССР, членом Сибирского отделения межведомственного литологического комитета СССР, редактировала стенную газету, руководила семинаром по экономической учебе сотрудников своего отдела, была лектором общества «Знание».

За большие заслуги перед Отечеством Тамара Ивановна награждена орденом Ленина, медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «За трудовое отличие», «В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина», «Тридцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», знаками «Отличник наркомнефти», «Отличник разведки недр», многочисленными грамотами, в том числе Министерства геологии и ЦК профсоюза рабочих геолого-разведочных работ. Ей было также присвоено звание «Заслуженный геолог РСФСР». Портрет Тамары Ивановны украшал Доску почета Центрального района Новосибирска и до сих пор украшает Доску почета института.

Литологи и геологи-нефтяники навсегда сохранят светлую память о Тамаре Ивановне как о талантливом ученом, способствовавшем развитию отечественной геологической науки, внесшем большой вклад в дело освоения нефтяных богатств Сибири, создавшем новосибирскую литологическую школу – одну из крупнейших в России.

Т. К. Баженова, В. Н. Богданова, И. В. Будников, Л. Г. Вакуленко, В. П. Девятков, Т. А. Дивина, Л. М. Дорогиницкая, В. В. Ефременкова, Т. Н. Зуева, А. Э. Конторович, В. И. Краснов, Л. А. Кроль, А. И. Ларичев, Н. В. Мельников, Г. Ф. Попелуха, М. М. Потлова, Е. А. Предтеченская, З. Я. Сердюк, Л. Г. Смирнова, В. С. Старосельцев, В. А. Чайков, Г. Н. Черкасов, Г. Г. Шемин



ПАМЯТИ ВИКТОРА ИВАНОВИЧА КРАСНОВА

IN MEMORIAM OF VIKTOR KRASNOV

23 августа 2019 года, не дожив до 90 лет менее месяца, ушел из жизни Виктор Иванович Краснов, известный ученый-стратиграф, вся трудовая жизнь которого была связана с Сибирским научно-исследовательским институтом геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС).

Виктор Иванович родился 15 сентября 1929 г. в Саратове. В 1952 г. после окончания геологического факультета Саратовского государственного университета он был направлен в Сибирский филиал Всесоюзного научно-исследовательского геолого-разведочного института, организованный в Томске. В 1957 г. филиал был преобразован в самостоятельный институт СНИИГГиМС с центром в Новосибирске. В Томске оставалась Обь-Иртышская экспедиция этого института, которую возглавил Виктор Иванович. Под его началом трудился большой коллектив стратиграфов и палеонтологов. С 1962 г. Виктор Иванович – старший научный сотрудник подразделения СНИИГГиМС в Новосибирске, позднее – руководитель секторов региональной геологии Алтае-Саянской складчатой области и Сибири в целом, а с 1981 по 2002 г. – руководитель отдела стратиграфии и палеонтологии СНИИГГиМСа.

Виктор Иванович известен как крупный специалист в области региональной геологии, стратиграфии, теории стратиграфии, палеогеографии, палеобиогеографии, палеоландшафтов; его научные достижения связаны с геолого-поисковыми и геолого-съёмочными работами в Сибири. Он организатор и активный участник подготовки к изданию пер-

вых детальных стратиграфических схем докембрия и палеозоя Сибири (1983 г.), заместитель главного редактора девятитомного сочинения «Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири», редактор книги «Палеозой Западной Сибири». Под его руководством создана первая официальная стратиграфическая схема палеозойских образований Западно-Сибирской равнины. Он участвовал в разработке первых палеогеографических, палеоландшафтных и палеоклиматических реконструкций девона Сибири. Он опубликовал около 250 работ (в том числе семь монографий), был редактором более 20 сборников научных трудов СНИИГГиМС. К 50- и 60-летию основания СНИИГГиМСа он подготовил две книги: «Золотой фонд отраслевой геологической науки Сибири» (2007) и «Научная гвардия СНИИГГиМСа: 60 лет на службе геологии Сибири» (2017), посвященные ученым института, внесшим значительный вклад в развитие сибирской геологии, минерально-сырьевой базы России и в открытие крупнейших нефтегазоносных провинций в Западной и Восточной Сибири.

В. И. Краснов был членом бюро Межведомственного стратиграфического комитета России (МСК), заместителем председателя девонской постоянной комиссии МСК, заместителем председателя Сибирской региональной межведомственной стратиграфической комиссии (СибРМСК) и председателем секции среднего и верхнего палеозоя этой организации.

Виктор Иванович награжден знаком «Отличник разведки недр», орденом «Знак почета», меда-



лью «300 лет горно-геологической службы России» и др. Ему присвоены звания «Почетный разведчик недр» и «Заслуженный геолог Российской Федерации», его имя – в Книге почета СНИИГГиМС, он почетный член Всероссийского палеонтологического общества.

Особую и серьезную часть жизни Виктора Ивановича составляла любовь к театру, вокалу, музыке,

поэзии. Его задушевный голос звучал на концертах в институте, в клубах, в Доме актера, неизменно вызывая горячий отклик слушателей.

В памяти друзей, коллег, учеников Виктор Иванович Краснов останется не только как известный ученый, руководитель, наставник, но и как очень доброжелательный, внимательный, общительный и талантливый человек.

А. Н. Алейников, В. Ф. Асташкина, И. В. Будников, В. П. Девятков, И. Г. Климова, Н. П. Кульков, Н. К. Могучева, Т. В. Пегель, Л. Г. Перегоедов, Л. С. Ратанов, В. В. Сапьяник, С. С. Сухов, О. В. Сычев, Ю. Я. Шабанов



НАШИ АВТОРЫ

- АЛЕКСАНДРОВ Александр Романович**, Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) СО РАН, Якутск, Россия, науч. сотр.
E-mail: sutuka1956@mail.ru
- ВАХРОМЕЕВ Андрей Гелиевич**, Институт земной коры (ИЗК) СО РАН, завлабораторией; Институт недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета (ИН ИрНТИУ), Иркутск, Россия, д. г.-м. н., проф. *E-mail: andrey_igr@mail.ru*
- ВЯТКИНА Дарья Владимировна**, Всероссийский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия, геофизик 1-й кат. *E-mail: darya_vyatkina@vsegei.ru*
- ГАЛЁВА Наталья Александровна**, Алтае-Саянский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Новосибирск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: tatapelya@gmail.com*
- ГОРЛОВ Иван Владимирович**, ООО «Газпром геологоразведка», замначальника Инженерно-технического центра; Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, аспирант. *E-mail: i.gorlov@ggr.gazprom.ru*
- ГУСЕВ Анатолий Иванович**, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Алтайский край, Россия, проф., д. г.-м. н. *E-mail: anzerg@mail.ru*
- КАШУБИНА Татьяна Викторовна**, Всероссийский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия, вед. геофизик. *E-mail: Tatiana_Kashubina@vsegei.ru*
- КРАШЕНИНИН Виктор Федорович**, АО «Куларзолото», прииск «Центральный», Омск, Россия, эксперт. *E-mail: viktorkrashenin@yandex.ru*
- КСЕНЕВА Татьяна Георгиевна**, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*
- ЛИСЕЙКИН Алексей Владимирович**, Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Новосибирск, Россия, завлабораторией, к. г.-м. н. *E-mail: leha@gs.nsc.ru*
- МАЗУКАБЗОВ Анатолий Муталибович**, Институт земной коры (ИЗК) СО РАН, Иркутск, Россия, гл. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: mazuk@crust.irk.ru*
- МИСЮРКЕЕВА Наталья Викторовна**, ООО «СИГМА-ГЕО», ведущий геолог; Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, аспирант. *E-mail: natasha-misur@mail.ru*
- МУРАВЬЕВ Анатолий Иннокентьевич**, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Сибирский палеонтологический научный центр (СПНЦ), аспирант, мл. науч. сотр. *E-mail: anatoliy.intsu@gmail.com*
- ОГИБЕНИН Валерий Владимирович**, ООО «Газпром геологоразведка», Тюмень, Россия, начальник Инженерно-технического центра, к. г.-м. н. *E-mail: v.ogibenin@ggr.gazprom.ru*
- ПЕТРОВ Дмитрий Михайлович**, Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия, ст. лаборант-исследователь, аспирант. *E-mail: qanala@mail.ru*
- ПОДОБИНА Вера Михайловна**, Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия, д. г.-м. н., проф. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*
- САЛЬНИКОВ Александр Сергеевич**, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики, и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, заводделом, д. г.-м. н. *E-mail: seispv@sniiggims.ru*
- СВИНЬИН Владимир Федорович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, завлабораторией. *E-mail: vfs@sniiggims.ru*
- СВИНЬИН Сергей Федорович**, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург, Россия, вед. науч. сотр., д. т. н., проф. *E-mail: sergejsvinin9225@gmail.com*
- СЕЛЗНЕВ Виктор Сергеевич**, Геофизическая служба СО РАН, Новосибирск, Россия, директор, д. г.-м. н. *E-mail: sel@gs.nsc.ru*
- СИВЦЕВ Алексей Иванович**, Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) СО РАН, Якутск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: maraday@yandex.ru*
- СМИРНОВ Александр Сергеевич**, ООО «Газпром геологоразведка», начальник отдела; Тюменский индустриальный университет (ТИУ), Тюмень, Россия, доцент, к. г.-м. н. *E-mail: a.smirnov@ggr.gazprom.ru, smirnovas@tyuiu.ru*
- СОЛОВЬЕВ Виктор Михайлович**, Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия, замдиректора, к. г.-м. н. *E-mail: solov@gs.nsc.ru*
- ТРИГУБОВИЧ Георгий Михайлович**, Новосибирск, Россия, ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», техн. директор, д. т. н., проф. *E-mail@aerosurveys.ru*
- ХОГОЕВ Евгений Андреевич**, Институт нефтегазовой геологии им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. ф.-м. н. *E-mail: HoguevEA@ipgg.sbras.ru*
- ХОГОЕВА Екатерина Евгеньевна**, Институт нефтегазовой геологии им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, Новосибирск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: KhogoevaEE@ipgg.sbras.ru*
- ЧЕРНЫШЕВ Антон Владимирович**, ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., к. т. н., доцент. *E-mail: chernshv@ya.ru*
- ШЕМИЯКИН Марк Леонидович**, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ), Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: shemiakin@lab.nsu.ru*
- ШУТОВ Геннадий Яковлевич**, Институт физики Земли (ИФЗ) РАН, Москва, Россия, вед. специалист, советник, к. г.-м. н. *E-mail: andrey_igr@mail.ru*



OUR AUTHORS

ALEKSANDROV Aleksandr, Institute of Oil and Gas Problems of the SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: sutuka1956@mail.ru*

CHERNYSHOV Anton, Aerogeofizichyaeskaya razvedka, Novosibirsk, Russia. *E-mail: chernshv@ya.ru*

GALYOVA Natalya, Altai-Sayan Regional Seismological Center, Geophysical Service SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: tata-pelya@gmail.com*

GORLOV Ivan, Gazprom Geologorazvedka, Tyumen, Russia; Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: i.gorlov@ggr.gazprom.ru*

GUSEV Anatoliy, DSc, Prof., V. M. Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Altai Region, Russia. *E-mail: anzerg@mail.ru*

KASHUBINA Tatiana, A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia. *E-mail: Tatiana_Kashubina@vsegei.ru*

KHOGOEV Evgeniy, PhD, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: HogoievEA@ipgg.sbras.ru*

KHOGOEVA Ekaterina, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS; *E-mail: KhogoevaEE@ipgg.sbras.ru*

KRASHENININ Viktor, Kularzoloto, Zentralny Mine, Omsk, Russia. *E-mail: viktorkrashenin@yandex.ru*

KSENEVA Tatyana, PhD, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*

LISEYKIN Aleksey, PhD, Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. *E-mail: leha@gs.nsc.ru*

MAZUKABZOV Anatoliy, DSc, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: mazuk@crust.irk.ru*

MISYURKEEVA Natalya, SIGMA-GEO, Irkutsk, Russia, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: natasha-misur@mail.ru*

MURAVYEV Anatoliy, National Research Tomsk State University (TSU), Tomsk, Siberian Paleontological Research Center (SPRC). *E-mail: anatoliy.intsu@gmail.com*

OGIBENIN Valeriy, PhD, Gazprom Geologorazvedka, Engineering Center, Tyumen, Russia. *E-mail: v.ogibenin@ggr.gazprom.ru*

PETROV Dmitriy, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: qanala@mail.ru*

PODOBINA Vera, DSc, Prof., National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*

SALNIKOV Aleksandr, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral resources, Novosibirsk, Russia. *E-mail: seispv@sniiggims.ru*

SELEZNEV Viktor, DSc, Geophysical Service SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: sel@gs.nsc.ru*

SHEMYAKIN Mark, PhD, National Research Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia; *E-mail: shemiakin@lab.nsu.ru*

SHUTOV Gennadiy, PhD, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Moscow, Russia. *E-mail: andrey igp@mail.ru;*

SIVTSEV Aleksey, PhD, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: maraday@yandex.ru*

SMIRNOV Aleksandr, PhD, Gazprom Geologorazvedka, Tyumen, Russia; Tyumen Industrial University (TIU), Tyumen, Russia. *E-mail: a.smirnov@ggr.gazprom.ru, smirnovas@tyuiu.ru*

SOLOVYEV Viktor, PhD, Altai-Sayan Regional Seismological Center, Geophysical Service SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: solov@gs.nsc.ru*

SVINYIN Sergey, DSc, Prof., Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAN), Saint Petersburg, Russia. *E-mail: sergejsvinin9225@gmail.com*

SVINYIN Vladimir, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: vfs@sniiggims.ru*

TRIGUBOVICH Georgiy, DSc, Prof., Aerogeofizichyaeskaya razvedka, Novosibirsk, Russia. *E-mail mail@aerosurveys.ru*

VAKHROMEEV Andrei, DSc., Prof., Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia; Institute of the Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University (IN IrNITU), Irkutsk, Russia. *E-mail: andrey igp@mail.ru;*

VYATKINA Darya, A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia. *E-mail: darya_vyatkina@vsegei.ru*

Подписано в печать 10.09.19. Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м². Печать цифровая.
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 14,8 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